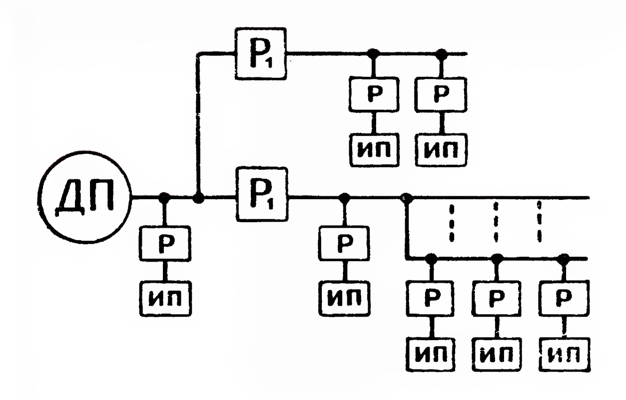
Библиотека по автоматике

В. А. Ильин

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ для РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

Выпуск 15

В. А. ИЛЬИН

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

Рассматриваются принципы построения наиболее массовых систем телемеханики, в которых объекты телемеханизации рассредоточены по площади или вдоль линий и при этом участвуют в едином производственном процессе (нефте- и газопромыслы, трубопроводы, ирригационные системы, крупные заводы, карьеры и шахты, железнодорожный и водный транспорт, коммунальное хозяйство городов и т. п.).

Рассмотрены структуры систем с рассредоточенными объектами, методы передачи информации о состоянии объектов и приказов управления. Дано описание устройств и систем, построенных на основе высоконадежных бесконтактных элементов.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников и студентов старших курсов, специализирующихся в области автоматизации и телемеханизации производства.

Автор *Виктор Александрович Ильин*

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХ[redacted]ЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Редактор *Н. А. Кузнецов* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 4/V 1960 г. Подписано к печати 23/VI 1960 г.
Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$ 5,74 п. л. 6,4 уч.-изд. л.
Т-06453 Тираж 13 000 Цена 3 р. 20 к. Зак. 2245

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В контрольных цифрах развития народного хозяйства Советского Союза на 1959—1965 гг. большое внимание уделено механизации, автоматизации и телемеханизации производственных процессов, которые являются главными, решающими средствами, обеспечивающими дальнейший технический прогресс.

По телемеханизации, в частности, отмечается: «В нефтяной и газовой промышленности в широких масштабах будут осуществляться автоматизация и телеуправление основными технологическими процессами на нефтяных и газовых промыслах, нефтеперерабатывающих заводах и всех магистральных нефтепроводах, продуктопроводах и газопроводах» [1].

Сейчас уже накоплен значительный опыт, подтверждающий высокую технико-экономическую эффективность телемеханизации в различных отраслях народного хозяйства.

Уже в настоящее время телемеханизация нефтепромыслов частично позволила перейти с трехсменного обслуживания скважин на односменное. При этом производительность труда с учетом вспомогательных служб повышается примерно на 30%, а капиталовложения на телемеханизацию окупаются в течение года.

На основании технико-экономических расчетов, выполненных комиссией ГНТК СССР, частично подтвержденных опытом эксплуатации, широкое внедрение телемеханизации только на нефтепромыслах, даже без существенных изменений в автоматизации местных объектов, дает экономический эффект, равный 200—300 млн. руб. в год. Затраты на телемеханизацию рассредоточенных объектов окупаются за один — три года, а при автоматизации и телемеханизации вновь строящихся объектов с учетом рационального изменения технологического процесса затраты обычно окупаются только за счет сокращения капиталь-

[1] Контрольные цифры развития народного хозяйства СССР.

ных затрат на строительство производственных установок.

Высокая эффективность автоматизации и телемеханизации имеет место и в других отраслях народного хозяйства.

До последнего десятилетия телемеханическая аппаратура создавалась в основном на базе недостаточно надежных элементов с электрическими контактами, радиолампами и кинематическими узлами. В последнее время начался процесс создания новых и замены старых устройств бесконтактной аппаратурой, характерной чертой которой является переход на более надежные полупроводниковые, магнитные и другие элементы, обеспечивающие коренное улучшение качества работы и резкое расширение областей применения телемеханики.

В связи с этим более остро ставятся вопросы о выборе рациональных структур и методов передачи информации в системах телемеханики с учетом современных элементов.

За последние годы появился ряд работ, посвященных системам телемеханики для рассредоточенных объектов. В работах [Л. 2, 4, 20, 27, 35, 40 и 44] излагаются особенности телемеханизации в отдельных отраслях промышленности с рассредоточенными объектами, а также описываются устройства и системы телемеханики, применяемые в этих отраслях народного хозяйства. Ряд работ посвящен элементам и устройствам телемеханики главным образом применительно к рассредоточенным объектам [Л. 3, 5, 6, 16, 17, 21, 28, 29, 32, 36 и 46].

В других работах [Л. 1, 14, 15, 18 и 45] рассматриваются основы построения систем телемеханики для рассредоточенных объектов.

В данной книге рассмотрены вопросы структуры и принципов построения телемеханических систем с рассредоточенными объектами, методы избирания, методы передачи информации и способы включения исполнительных пунктов (ИП) в линию связи (гл. 1). Рассмотрены также общие характеристики и выбор структуры проводных и радиолиний связи для телемеханических систем (гл. 2) и бесконтактные элементы телемеханики, широко используемые в системах, приведенных в гл. 3. В последней главе дано краткое описание новых бесконтактных систем телемеханики для рассредоточенных объектов.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ С РАССРЕДОТОЧЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

1. Введение

В ряде отраслей народного хозяйства многие машины и агрегаты участвуют в едином производственном процессе и при этом расположены от пункта управления или между собой на расстояниях от нескольких километров до сотен и тысяч километров. К таким отраслям относятся энергосистемы, железнодорожный, воздушный и водный транспорт, нефтепромыслы, крупные заводы, шахты и ирригационные системы, трубопроводы, коммунальное хозяйство городов и т. п.

На начальных этапах развития этих систем повышение оперативности и эффективности работы в ряде случаев достигалось введением диспетчерской службы, оборудованной телефонной связью. Такая диспетчеризация требует на местных объектах наличия дежурного персонала и только частично повышает эффективность работы.

Качественно новый результат может быть получен при использовании методов и средств телемеханики: телеуправления, телесигнализации, телеизмерения и телерегулирования, позволяющих эксплуатировать объекты управления без дежурного персонала.

Если автоматизация повышает производительность труда и эффективность работы машин, расположенных на небольших расстояниях, то при телемеханизации системы машин, занимающие большие пространства, объединяются в единые производственные комплексы с централизованным управлением. Это создает условия для дальнейшего совершенствования производства.

Для эффективной телемеханизации, как правило, необходим определенный уровень автоматизации местных объектов, так же как предварительным условием автоматизации должна быть механизация процессов. В связи с этим естественна определенная последовательность в развитии автоматизации и телемеханизации производства, примерно так же, как при механизации и автоматизации.

В настоящее время сам диспетчер осуществляет контроль и управление объектами на расстоянии с помощью технических средств телемеханики. Дальнейшим этапом развития должен быть переход к телеавтоматическим системам с частичной или полной заменой диспетчера автоматическими устройствами и вычислительными машинами.

Технической задачей всех устройств телеуправления, телесигнализации, телеизмерения и телерегулирования (ТУ, ТС, ТИ и ТР) является передача соответствующей информации с диспетчерского пункта (ДП) в определенные исполнительные пункты (ИП) или в обратном направлении.

В отличие от систем телефонной, телевизионной и телеграфной связи, с помощью которых осуществляется обмен информацией на расстоянии между людьми, в телемеханике производится обмен информацией между установками на местных объектах и человеком на диспетчерском пункте или между отдельными автоматами в телеавтоматических системах.

Поэтому, так же как и в связи, основными проблемами телемеханики являются проблемы надежности и эффективности передачи информации, заключающиеся в обеспечении необходимой степени достоверности принятой информации и в передаче информации наиболее экономным способом через канал связи, т. е. в уплотнении канала связи в широком смысле этого слова.

Система телемеханики отличается от системы связи следующими особенностями:

1. Спецификой входных и выходных устройств. Если в системе связи, например, входными и выходными элементами и устройствами являются микрофон, телефон, экран кинескопа и иконоскопа, то в телемеханике соответственно ключи управления, датчики ТИ, указывающие и регистрирующие приборы, исполнительные реле и другие исполнительные органы.

2. Спецификой и содержанием передаваемой информации. Требуемая полоса частот обычно значительно меньше, чем полоса частот телефонной или тем более телевизионной передачи. В устройстве ТУ по каналу связи передается часто большое число элементарных и сравнительно редко следующих приказов управления типа «да» — «нет», предназначенных для различных приемников информации. Это приводит в ряде случаев к специфичным способам осуществления многоканальности и усложнению оконечной аппаратуры.

В устройствах телеизмерения необходимо передавать с малой погрешностью величину измеряемого параметра, включая ее постоянную составляющую. В связи с этим необходимо иметь высокостабильные по коэффициенту передачи первичные и вторичные преобразователи.

3. Более высокими требованиями к надежности передачи информации в каждый момент времени. Даже кратковременные перерывы в тракте передатчик—приемник информации во многих случаях значительно ухудшают работу системы телемеханики или делают ее неработоспособной. Весьма незначительный процент непрохождений может вызвать передачу ложных приказов и привести к тяжелым последствиям. Также недопустимы существенные запаздывания в передаче информации.

В отличие от этого в телефонной и телеграфной связи перерывы или значительные запаздывания в передаче информации часто считаются нормальным явлением. В результате этого телеграммы передаются подобно эстафете с остановками, а телефонные разговоры предоставляются в определенное время.

4. Спецификой структурных схем телемеханики. Отдельные источники и приемники информации соединены с одним или весьма ограниченным числом пунктов управления, т. е. имеет место значительно большая их централизация. Обмен информацией производится между местными объектами и человеком на пункте управления или между автоматами на ДП и управляемыми объектами, в то время как в связи передача информации производится между людьми на различных пунктах.

Телемеханизация до последних лет развивалась главным образом применительно к сосредоточенным объектам и в Советском Союзе получила наиболее широкое применение в энергосистемах.

Разрабатывались методы и технические средства для

управления с ДП сравнительно крупными объектами, такими, как электрические станции, высоковольтные подстанции и т. п. На каждом сравнительно крупном контролируемом или телеуправляемом объекте при этом часто устанавливается несколько различных устройств телемеханики, соединяемых с ДП отдельными каналами или линиями. Характерный пример такой системы управления электро-

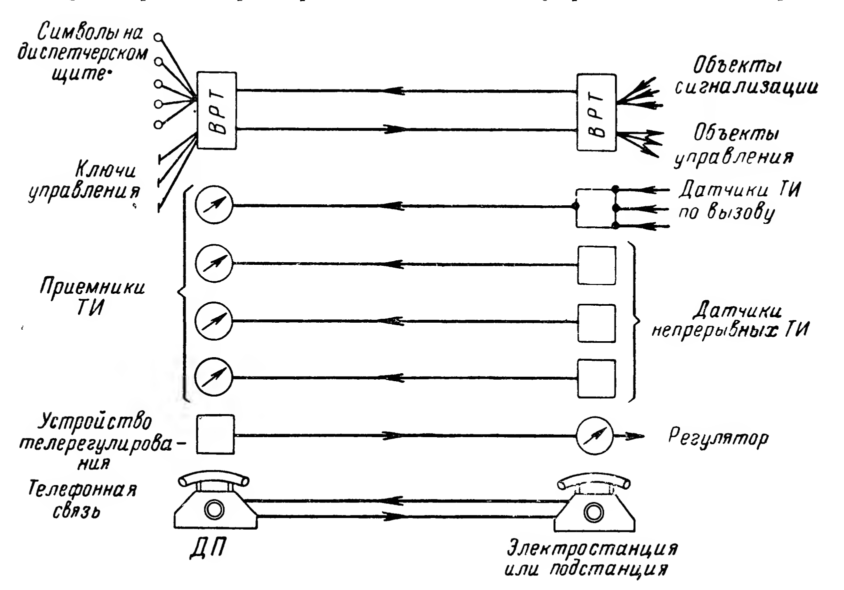


Рис. 1. Схема каналов связи и телемеханической аппаратуры для управления электростанцией или подстанцией с ДП.

станцией или подстанцией дан на рис. 1. Схема рис. 1 является типичной блок-схемой телемеханических систем с сосредоточенными объектами.

С внедрением более совершенных методов управления производственными процессами возникает задача автоматизации и телемеханизации наиболее массовых, рассредоточенных объектов, количество которых в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве в десятки и сотни раз превышает количество сосредоточенных объектов. В таких системах сравнительно некрупные объекты рассредоточены вдоль линии, как это имеет место на нефте- и газопроводах, в ирригации, на транспорте и т. п. или по площади, например на нефте- и газопромыслах. И все они

участвуют в едином, взаимосвязанном производственном процессе. Здесь уже технически и экономически нецелесообразно соединять каждый контролируемый или телеуправляемый объект отдельной линией или каналом связи с ДП.

Методы и технические средства автоматики и телемеханики при этом имеют определенную специфику.

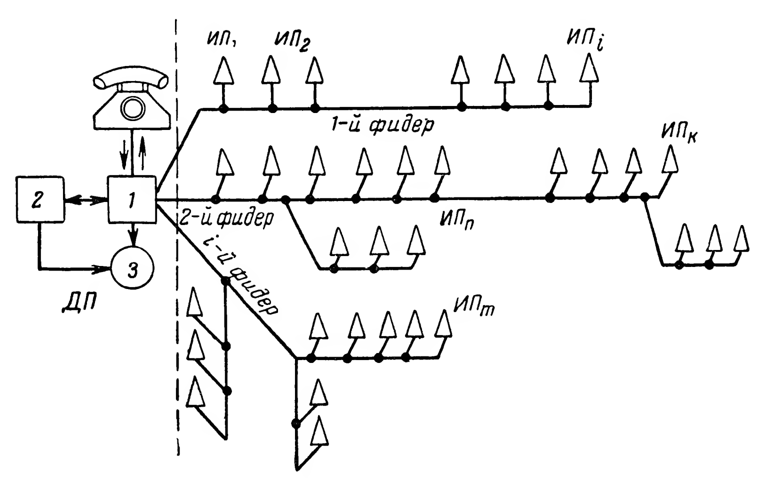


Рис. 2. Схема каналов связи и аппаратуры ДП комплексной системы телемеханики для управления нефтескважинами.

1—устройство для коммутации; *2*—устройство ТУ и ТС; *3*—устройство ТИ по вызову.

Для автоматизации и телемеханизации в таких отраслях народного хозяйства необходимы комплексные системы, с помощью которых осуществляется контроль за работой группы местных объектов и обеспечивается передача приказов телеуправления с ДП на местные объекты по одной линии связи для группы объектов. Общая линия связи во многих случаях должна использоваться и для диспетчерской телефонной связи.

Характерным примером системы для массовых рассредоточенных объектов является комплексная система телемеханики для централизованного управления нефтескважинами (рис. 2).

Здесь каждая скважина должна иметь одно-два телеизмерения по вызову, в том числе в отдельных случаях одно телединамометрирование; один—три двухпозиционных объекта телеуправления, включая телеизмерение по

вызову. Кроме того, необходимо передавать с каждой скважины один-два сигнала о неисправности оборудования скважины и иметь двустороннюю телефонную связь с каждой скважины во время прихода на скважину обходчика или ремонтной бригады.

Количество нефтескважин (ИП), управляемых с одного ДП (диспетчерского пункта) изменяется примерно от 30 до 200, а число фидеров проводных линий, каждый из которых соединяет ДП с группой скважин, — от двух до десяти.

Только на ранних этапах развития диспетчерского управления были попытки соединять каждую нефтескважину с ДП несколькими отдельными проводными линиями (по числу передаваемых сигналов ТУ и ТИ).

Такие системы оказались дорогостоящими, ненадежными и не получили дальнейшего распространения. Современные системы телемеханики выполняются обычно по схеме, изображенной на рис. 2, и поэтому эту схему можно рассматривать как типовую блок-схему телемеханических систем с рассредоточенными объектами.

Требования к системам телемеханики на нефтепромыслах различны в зависимости от способов эксплуатации скважин и их технологического оборудования.

Еще большее различие в требованиях к системам телемеханики имеет место при переходе к другим отраслям народного хозяйства.

Тем не менее значительная часть систем телемеханики для рассредоточенных объектов имеет ряд общих черт.

В табл. 1 приведены некоторые усредненные показатели рассредоточенных объектов в различных отраслях народного хозяйства, которые необходимо телемеханизировать в ближайшие годы, полученные на основе весьма приближенных и ориентировочных расчетов. В табл. 1 не включены энергетические и другие объекты телемеханизации некрупных городов и поселков, объекты систем управления уличным движением, железнодорожный транспорт и т. п.

Подавляющее большинство исполнительных пунктов табл. 1 должно иметь несколько двухпозиционных объектов ТУ (в среднем 2—2,5, включая телеизмерение по вызову), несколько ТИ по вызову (в среднем 1,5—2) и соответствующее количество объектов сигнализации на ДП. При этом в каждой отрасли народного хозяйства есть более

Таблица 1

Объекты телемеханизации	Число телемеханизируемых ИП	Среднее число команд ТУ на ИП, включая ТИ по вызову	Среднее число ТИ на ИП		Примерный процент телемеханизации к 1965 г.	Примечание
			непрерывные	по вызову		
1. Нефтепромыслы	50 000	2,2	—	1,5	80	
2. Бурение скважин	2 000	5,0	—	4,0	20	
3. Нефте- и газопроводы (без компрессорных и газораспределительных станций)	5 000	1,7	—	1,5	70	
4. Компрессорные и газораспределительные станции трубопроводов	1 500	10	0—2	6	70	
5. Газопромыслы	1 000	4,0	—	3,0	70	
6. Промышленные комбинаты	2 000	6,0	0,5—1	4,0	40	
7. Шахты и карьеры	5 000	2,0	—	1,0	30	
8. Коммунальное хозяйство крупных городов	20 000	3,0	—	2,0	30	
9. Оросительные системы	50 000	2,0	—	1,5	5	
	136 500	2,3	—	1,7	50	

крупные рассредоточенные исполнительные пункты с большим числом объектов ТУ, ТИ и ТС, например такие, как компрессорные станции. Неучтенное количество объектов телемеханизации значительно превышает количество объектов, приведенных в табл. 1, а их телемеханизация, по-видимому, будет осуществляться на протяжении многих лет возрастающими темпами.

На комплексно автоматизированных заводах и предприятиях средства телемеханики все в большей степени будут заменять средства связи.

2. Структура и общие принципы построения

Прогресс в развитии автоматизации и телемеханизации немыслим без повседневного улучшения отдельных технических средств автоматики и телемеханики. Но усовершенствование отдельных конструкций, как правило, не влечет за собой изменения общих принципов построения и лишь иногда требует частичного их изменения. Принципы построения систем автоматики и телемеханики изменяются более медленно, и поэтому по разработанным принципам построения всегда может быть выполнен ряд систем телемеханики и устройств местной автоматики.

В связи с этим выбор структуры и принципов построения является основной задачей при создании телемеханических систем.

Рассмотрим вначале общую структуру телемеханических систем.

Системы телемеханики состоят из следующих трех основных частей: устройств на ДП, каналов связи и устройств, устанавливаемых на ИП. Задача, поставленная при разработке системы, всегда может быть решена неоднозначно: с различными устройствами на ДП, на ИП и с различными каналами связи. Общая структура определяется структурой каждой из трех основных частей системы телемеханики, в известной степени взаимосвязанных.

В дальнейшем ограничимся рассмотрением только комплексных систем телемеханики с рассредоточенными объектами, выполняющих функции ТУ, ТС, ТИ и ТР или не менее двух из этих телемеханических функций. Системы только ТИ, ТС, ТУ или ТР относятся к более простым частным случаям.

Будем называть системами телемеханики с *рассредоточенными объектами* системы, имеющие по

меньшей мере несколько ИП, рассредоточенных вдоль линий трубопроводов, железных дорог, оросительных каналов и т. п.; по площади на нефтепромыслах, газопромыслах, на заводах и т. д. или системы с ИП, рассредоточенными в пространстве, например занимаемом объектами шахты под землей.

Рассмотрим перечисленные выше основные части систем телемеханики.

Диспетчерский пункт (ДП) может иметь одно или несколько устройств ТИ, ТС, ТУ и ТР, которые подключаются непосредственно или через коммутирующие устройства к одной или нескольким линиям связи. Коммутирующее устройство выполняет функции подключения устройств ТУ, ТИ, ТС и ТР по желанию диспетчера или автоматического переключения по заданной программе (циклический опрос) к одной или нескольким линиям связи. Необходимо отметить, что устройства ТУ и ТС или ТИ и ТР в ряде случаев могут быть выполнены как единое целое.

Научные основы построения блок-схемы устройств на ДП являются еще недостаточно разработанными, поэтому выбор структуры этих устройств производится на основе сопоставления и инженерного расчета различных вариантов схем с последовательным приближением к оптимальному варианту.

Можно представить себе весьма большое количество различных блок-схем ДП в зависимости от числа возможных схем включения и схем коммутации устройств ТУ, ТИ, ТС и ТР, а также от количества линий связи, соединяющих ДП с ИП (например, схема, данная на рис. 2).

Выбор структуры устройств на ДП из многих возможных вариантов устройств и схем их включения определяется в значительной степени требованиями, предъявляемыми к системе телемеханики, которые могут изменяться в больших пределах в зависимости от конкретных условий.

При заданных технических требованиях основным фактором, определяющим выбор той или иной блок-схемы, должна быть высокая надежность работы всей системы и устройств на ДП. Расчет надежности может быть выполнен методами теории вероятности. При этом особое внимание должно быть обращено на комплексное рассмотрение всей системы с учетом возможных частных решений для линий связи и устройств на ИП.

Линии связи систем для рассредоточенных объектов могут также иметь различную структуру.

Основные структуры линий связи телемеханических систем приведены на рис. 3. На рис. 3,*а* дана типовая схема линий связи ДП с сосредоточенными объектами. Все другие схемы применяются для объектов, рассредоточенных вдоль линии (рис. 3,*б*), по площади или в пространстве.

При радиальной схеме (рис. 3,*г*) все ИП соединены с ДП отдельными фидерами. Однофидерная линия

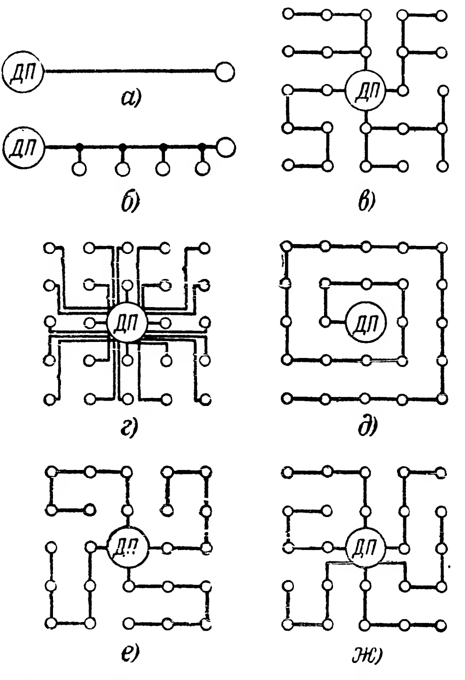


Рис. 3. Основные схемы линий связи.

(рис. 3,*д*) проходит через все пункты в определенной последовательности.

В кустовых системах (рис. 3,*е* и *ж*) ИП разделены на группы (кусты), каждая из которых соединена с ДП отдельным фидером. В пределах одного куста линия проходит через пункты в определенной последовательности. На рис. 3,*е* и *ж* изображены схемы с числом кустов $m=4$ и $m=6$.

Древовидная схема (рис. 3,*в*) может принципиально не отличаться от кустовой, если в точках соединения линий

не установлена специальная коммутационная аппаратура. Могут быть также смешанные линии.

С целью обоснованного выбора линий связи в § 8 даны описание и анализ приведенных выше основных структур. Анализ выполнен упрощенно, с определенными ограничениями, которые не всегда выполняются в реальных условиях. Тем не менее он позволит в первом приближении оценить различные структуры линий связи и сделать соответствующий выбор.

Относительно более простую структуру для рассредоточенных объектов имеют устройства телемеханики на ИП. В реальных условиях в одну систему включаются либо одинаковые ИП, либо нескольких типов с более простой структурой по сравнению с ДП.

Каждый ИП имеет один или несколько объектов ТУ ТС, ТИ или ТР. В системе с полностью рассредоточенными объектами каждый ИП состоит только из объекта ТУ, ТС, ТИ или ТР. Структура таких ИП максимально простая. Более сложную структуру могут иметь ИП с многими объектами ТУ, ТС, ТИ и ТР.

ИП разделяются по характеру телемеханических функций, выполняемых объектами (ТИ, ТР, ТС, ТУ или их комбинации), а также по количеству входящих в них объектов.

ИП или отдельные входящие в него объекты могут быть подключены к линии связи параллельно или последовательно через разделительное или коммутирующие устройства. В зависимости от этого изменяется структура ИП. Анализ схем включения ИП в линию связи дан в этой главе.

Для обоснованного выбора структуры всей системы телемеханики, с одной стороны, необходим анализ отдельных ее частей, а с другой стороны, необходимо рассмотреть задачу выбора всей системы комплексно. Научные основы построения структуры всей системы в настоящее время разработаны недостаточно, поэтому для выбора структуры всей системы необходимо учесть результаты более частных исследований, приведенные в этой главе, и рассмотреть ряд вариантов решения общей задачи. Выбор производится в результате сопоставления и инженерного расчета отдельных вариантов.

На основании результатов исследования можно рекомендовать следующие общие принципы построения и требования к системам телемеханики для рассредоточенных объектов нефте- и газопроводов, нефте- и газопромыслов,

ирригационных систем, шахт, карьеров, крупных заводов, коммунального хозяйства городов и т. п.:

1. Системы автоматики и телемеханики должны быть рассчитаны на эксплуатацию местных объектов без постоянного дежурного персонала. Характер производственных процессов и уровень автоматизации позволяют осуществить это сравнительно простыми средствами.

2. Целесообразно освободить системы телемеханики от передачи излишних сигналов. Все задачи, которые могут быть решены сравнительно простыми средствами без систем телемеханики, должны решаться устройствами местной автоматики. Это повышает надежность работы систем и позволяет исключить наиболее ненадежное звено в системе — линию связи в тех случаях, когда можно обойтись без нее.

Системы телемеханики должны контролировать работу устройств местной автоматики (ТС и ТИ) и выполнять функции ТУ местными объектами только в тех случаях, когда это необходимо по условиям эксплуатации. Для многих автоматизированных объектов целесообразно ограничиться телеконтролем.

3. Исходя из требований повышения надежности и эксплуатационных показателей, для объектов, рассредоточенных по площади, целесообразно выбирать кустовой принцип построения систем телемеханики. Все ИП при этом условно разделяются на группы (кусты), каждая из которых имеет отдельную линию связи с ДП. Как показано в § 8, существует оптимальное число кустов для каждого конкретного случая с точки зрения одновременного выполнения требований экономичности и надежности работы системы.

Кроме того, такой принцип построения системы отличается гибкостью в условиях эксплуатации и возможностью изменения числа объектов. Так, увеличение в системе количества ИП не требует больших изменений в аппаратуре (при этом, например, существующие кусты остаются без изменений).

Для местных объектов, рассредоточенных вдоль линий (нефтегазопроводы и т. п.), к общей телемеханической линии связи целесообразно подключать объекты, расположенные в одном направлении от ДП, так, чтобы они составляли самостоятельный куст (группу), а ДП располагать в середине линии.

4. С целью повышения надежности работы системы телемеханики ИП и объекты контроля должны подключать-

ся к линии, как правило, путем параллельного включения, без разрыва линии связи. Линия должна быть такой, какой она рекомендуется организациями связи. При этом, как показано ниже (§ 2 и 6), необходимо обеспечить весьма малую вероятность короткого замыкания каждого входа ИП. Это достигается, например, путем включения ИП через предохранители, трансформаторы или ограничители, у которых вероятность короткого замыкания входа или выхода может быть исчезающе малой и по меньшей мере на несколько порядков меньше вероятности перегорания предохранителя или обрыва обмоток.

5. Особое внимание необходимо обращать на надежность работы аппаратуры на объектах, работающих без постоянного дежурного персонала. Аппаратура на таких объектах должна быть сравнительно простой и иметь минимальное число элементов с недостаточной надежностью (радиолампы, электромагнитные реле и другие элементы с электрическими контактами). Целесообразно в случае необходимости даже вводить некоторое усложнение аппаратуры на ДП за счет упрощения аппаратуры на ИП. При этом повышаются эксплуатационные показатели системы в целом, так как повреждение аппаратуры на ДП может быть устранено квалифицированным дежурным персоналом в более короткий срок.

6. С целью повышения надежности работы весьма желательно, чтобы система телемеханики, там где это возможно, не требовала местных источников питания на объектах, вносящих дополнительную ненадежность, и не требовала для питания на объектах единой силовой сети, чтобы не нарушать работу системы телемеханики в условиях аварии на объекте. Повреждение на объекте часто вызывает выключение силовой сети и нарушение работы системы телемеханики, если она использует местные источники питания. В аварийных условиях система должна осуществлять контроль и управление с целью предотвращения нарастания аварии.

7. Для повышения надежности работы систему телемеханики целесообразно строить в основном на базе высоконадежных бесконтактных элементов с минимальным количеством электромагнитных реле, кинематических узлов, контактов, радиоламп. При этом все такие элементы и устройства должны работать в облегченном режиме. Тем не менее повреждение любого из элементов системы не должно вызывать ложного выбора ИП или исполнения

команды (обрыв любого проводника, короткое замыкание конденсаторов, диодов, транзисторов).

8. Системы телемеханики для рассредоточенных объектов целесообразно строить комплексными, выполняющими все необходимые телемеханические функции (ТИ, ТС, ТУ, ТР) при использовании общей линии связи.

9. Система автоматики и телемеханики, а также входящие в нее устройства должны удовлетворять требованиям унификации, допускать некоторое увеличение или уменьшение количества ИП без существенных изменений в уже установленной аппаратуре и должны быть приспособлены для комплексной автоматизации с учетом перехода на современные технологические процессы.

3. Методы избирания

Надежность работы телемеханических устройств на объектах зависит главным образом от методов избирания, свойств элементов с электрическими контактами (электромагнитные реле) и некоторых других элементов (радиолампы, ионные приборы и т. п.), имеющих относительно большую вероятность повреждения.

В устройствах ТУ—ТС для сосредоточенных объектов (энергосистемы, подстанции метро и т. п.) широко применяются методы избирания с временным разделением сигналов (устройства типов ВРТ, РВС, КРВ, ДВК и т. п.).

В системах с рассредоточенными объектами также были попытки использовать методы избирания с временным разделением сигналов и релейно-контактными элементами. В этом случае на каждом ИП необходимо установить полукомплект устройства ТУ—ТС с распределителем, рассчитанным на полную емкость установки, несмотря на то, что на отдельных ИП может быть всего один или два объекта при общем количестве объектов в системе, достигающем нескольких десятков или сотен.

При выборе метода избирания необходимо, исходя из заданных требований к системе, провести сравнение отдельных методов.

Для сравнения методов избирания при временном разделении сигналов и релейно-контактных элементах избирания целесообразно сопоставить различные системы при других равных условиях по числу электромагнитных реле на объектах, не рассматривая в первом приближении нагрузку и число контактов реле.

Определим число реле распределения и избирания на один объект при временном разделении сигналов и различных методах селекции. Ограничимся рассмотрением одной проводной линии связи с общим числом объектов, включенных в линию, равным N.

Для временных методов разделения сигналов число реле распределения и избирания на объекте $K_р$ зависит от метода избирания и в общем случае $K_р = n_1 + n_2$, где n_1 — полное число импульсов в коде, а n_2 — число избирающих импульсов в коде.

Если не учитывать возможного сокращения числа реле за счет многократного использования их в течение одной передачи, а также за счет применения вентильных элементов и т. п., то число реле на объект для различных методов избирания определяется из следующих выражений:

1. При распределительном негрупповом методе $N = n_1$; $n_2 = 1$

$$K_р = N + 1. \tag{1}$$

2. При распределительном групповом методе с числом ступеней избирания q, числом объектов в группе $\sqrt[q]{N}$; $n_2 = q$:

$$K_р = q\sqrt[q]{N+1}. \tag{2}$$

3. При комбинационном методе избирания на одно сочетание $K_р = n_1 + n_2$. Величины n_1, n_2, N связаны между собой выражением

$$N = \frac{n_1!}{(n_1 - n_2)!\, n_2!}. \tag{3}$$

4. При комбинационном методе на все сочетания

$$K_р = \frac{\log(N+1)}{\log 2} + \frac{\sum\limits_{n_2=1}^{n_1} n_2 C_{n_1}^{n_2}}{N}. \tag{4}$$

5. При распределительном негрупповом методе с распределителем, рассредоточенным по объектам, и с числом импульсов в коде, равным числу объектов, в случае, когда при передаче кода участок линии подключается к ДП последовательно один за другим и каждому объекту соответствует различный по номеру импульс кода:

$$K_р = \frac{n_1}{N} + n_2 = 1 + 1 = 2. \tag{5}$$

На рис. 4 приведена зависимость $K_p = \varphi(N)$ для рассмотренных методов избирания. Номера кривых соответствуют приведенной нумерации методов.

В системах с бесконтактными элементами с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) каждая ячейка с ППГ в известной степени эквивалентна электромагнитному реле. Поэтому кривые рис. 4 характеризуют также количество ячеек с ППГ в бесконтактных системах телеуправления с временным разделением сигналов.

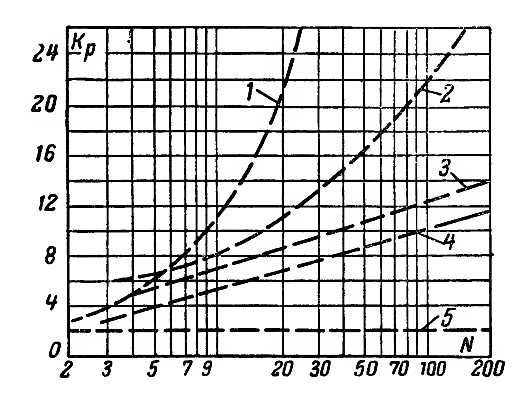


Рис. 4. Зависимость числа реле распределения и избирания на отдельном объекте K_p от общего числа объектов N при различных методах избирания.

Как видно из рис. 4, при временном разделении минимальное число реле на объект может быть получено путем применения рассредоточенных распределителей. Все другие способы требуют значительно большего числа реле на объект, и, что весьма существенно, это число зависит от количества объектов N. В результате затрудняется создание унифицированной системы при различном количестве объектов на исполнительном пункте и в системе. Однако для рассредоточенного распределителя в большей степени характерны следующие недостатки:

1. Уменьшение надежности линии связи и всей системы из-за последовательного включения в нее большего числа контактов (равного $N - 1$). Повреждение реле распределения на одном из объектов вызывает выход из строя всей или значительной, части системы. Как будет показано

ниже, система имеет низкую структурную надежность.

2. Сложность защиты от исполнения ложной команды, если импульсная помеха во время выбора переводит импульс счета в импульс избирания. При одинаковом быстродействии реле время избирания в рассредоточенном распределителе примерно в N раз больше, чем в частотном устройстве. Поэтому вероятность искажений от помех во время выбора также значительно больше.

3. Трудность осуществлять вызов и телефонную связь независимо от работы системы телемеханики.

Эти недостатки ограничивают применение рассредоточенного распределителя.

Частотные методы избирания позволяют создать бесконтактные системы с одним частотным элементом на объект без электромагнитных реле в цепях избирания при одночастотном или двухчастотном избирании объектов (см. гл. 3).

Электромагнитные или бесконтактные реле на выходе таких частотных дешифраторов выполняют только функции исполнительных реле, которые относятся к аппаратуре местной автоматики.

Существующие бесконтактные элементы, используемые для избирания объекта, такие, как частотные, экспоненциальные преобразователи и элементы с ППГ, по надежности и сложности примерно равноценны. Так, каждая ячейка с ППГ и частотное реле с электрическим контуром, описанные в гл. 3, состоят из трансформатора с ферромагнитным сердечником, конденсаторов и диодов или транзисторов. При одной и той же выходной мощности габариты и другие показатели ячеек примерно одинаковы. Существенное различие между ними заключается в том, что первая ячейка имеет только два возможных состояния, в то время как частотное реле может быть настроено на одну из многих частот и на каждой рабочей частоте будет иметь два возможных состояния. Отсюда число всех возможных состояний частотного реле в n раз больше, чем у ячейки с ППГ; n — количество рабочих частот при избирании одной частотой.

Еще большее различие имеет место у бесконтактных частотных избирателей (дешифраторов) с двухчастотным кодом. Число всех возможных состояний такого избирателя, как показано в гл. 3, в $n(n-1)$ раз больше, чем у одного элемента с ППГ, в то время как по сложности он при-

мерно равноценен двум частотным реле с электрическим контуром.

Это позволяет осуществлять избирание рассредоточенных ИП значительно более простыми устройствами при небольшом количестве объектов на одном ИП.

Так, при временном разделении сигналов и распределительном негрупповом методе число бесконтактных ячеек с ППГ для избирания одного объекта равно $K_р = N+1$, в то время как с двухчастотным кодом избирание осуществляется устройством только с двумя ячейками, если $N \leqslant n(n-1)$, где n — количество рабочих частот. Кроме того, для ограниченного уровня сигналов помехоустойчивость передачи при частотном разделении сигналов значительно выше помехоустойчивости передачи при временном разделении сигналов (допустимый уровень сигналов в проводных и многих других линиях ограничен).

Следовательно, для избирания рассредоточенных объектов целесообразно применять устройства с элементами, имеющими многие возможные состояния (избирающие признаки). Такими свойствами обладают частотные избиратели, а также экспоненциальные преобразователи при временном разделении сигналов, описанные в гл. 3.

В тех случаях, когда помехоустойчивость передачи имеет существенное значение, необходимо также учесть рекомендации § 5.

Частотные избиратели, рассредоточенный переключатель и экспоненциальный преобразователь позволяют создать наиболее простую и унифицированную аппаратуру, рассчитанную на различное число объектов в системе и на ИП. Эти методы имеют и общий существенный недостаток, который заключается в трудности контроля положения объекта, особенно при большой протяженности линии и большом числе объектов. Однако связанные с этим трудности, как показано ниже, могут быть в значительной степени преодолены.

С уменьшением рассредоточенности объектов преимущества систем с временным разделением сигналов, использующих элементы с ППГ, несколько возрастают. На основании результатов предварительных исследований, без учета помехоустойчивости, граница, при которой рассматриваемые системы примерно равноценны, лежит в области значений $K=n$, где K — среднее число объектов на одном ИП, а n — количество ИП в кусте.

В области, примыкающей к этой границе, лучшие реше-

ния могут дать комбинированные системы с частотным выбором ИП и временным разделением сигналов на самом ИП. В такой системе каждая ячейка с ППГ, входящая в общий распределитель ИП, может быть использована для работы индивидуального объекта на данном ИП так, что количество ячеек с ППГ будет, например, приблизительно равно числу объектов на ИП.

4. Передача приказов ТУ, ТС и ТИ

Общая постановка задачи в телемеханике заключается в том, что необходимо обеспечить электрическими методами передачу на расстояние информации о состоянии или изменении состояния определенных местных объектов типа «да — нет» (ТС) и информацию о величине измеряемых параметров (ТИ) с объектов на ДП, а также информацию о приказах управления с ДП на определенные местные объекты типа «да — нет» (ТУ) или о заданной величине телеуправляемого параметра (ТУ и ТР). Информация должна передаваться в момент возникновения ее в источнике или по заданной программе. Процесс передачи информации должен быть автоматизирован. Недопустимы существенное запаздывание и искажение (ложные команды или ТИ с ошибкой больше допустимой величины).

С целью повышения эффективности использования линий связи необходимо передавать по линии несколько сигналов ТУ, ТС или ТИ между ДП и ИП. Это достигается путем частотного, временного или кодового разделения сигналов. Повышение надежности и эффективности передачи достигается выбором рациональных методов передачи и технических средств.

Для повышения надежности передачи команд ТУ применяются различные способы предотвращения приема ложных команд и обратная сигнализация о выполнении приказа с различными способами подтверждения. Кроме того, в случае непрохождения команды допускаются повторные передачи.

С целью уменьшения погрешностей ТИ применяются высокостабильные преобразователи и соответствующие виды модуляции.

Характерной чертой рассредоточенных объектов в промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве является сравнительно медленное изменение производствен-

ных процессов и соответственно малое количество информации, передаваемой между отдельным объектом и ДП. Это позволяет в большинстве случаев ограничиться ТИ по вызову (ручному или циклическому) и допускать задержку в передаче сигналов с ИП на время, необходимое для передачи сигналов с других ИП (занятый канал). С этой целью применяются запоминание сигналов и циклический опрос ИП. В результате по одной линии может передаваться информация между ДП и большим количеством ИП и объектов телемеханики.

Выбор способа передачи приказов ТУ в значительной степени зависит от методов избирания объектов, рассмотренных в этой главе. Если объект выбран, т. е. на нем сработало реле выбора, то это реле может одновременно являться и исполнительным реле данного приказа телеуправления. Однако с целью уменьшения вероятности исполнения ложной команды для некоторых ответственных объектов передача приказов ТУ осуществляется в два этапа. На первом этапе выбирается объект и с ИП на ДП передается сигнал подтверждения выбора данного объекта (сигнализация). Только после приема на ДП этого сигнала на втором этапе передается приказ ТУ. Естественно, что такая передача приказов ТУ требует более сложных устройств на ДП и ИП.

Для массовых рассредоточенных объектов передача приказа ТУ во многих случаях может осуществляться без индивидуального подтверждения выбора объекта.

Так, для ИП с одним двухпозиционным объектом телеуправления при частотном методе избирания во многих случаях целесообразно совместить функции избирания и передачи команды ТУ, т. е. осуществлять ТУ без предварительного выбора ИП. Объекту присваиваются две кодовые комбинации или две частоты при одночастотном избирании. Первая комбинация производит включение, а вторая— выключение двухпозиционного объекта. Как показано в § 13, для этого достаточно иметь два частотных элемента и одно реле с магнитным залипанием или с механической защелкой.

В ряде случаев избирание объекта может быть совмещено с передачей приказа ТУ для нескольких двухпозиционных объектов на ИП. Все это относится и к системам с временным разделением сигналов с экспоненциальными преобразователями.

При нескольких или большом количестве объектов на

ИП целесообразно на первом этапе производить избирание ИП, а затем на втором этапе — избирание объекта ТУ. Это позволяет упростить аппаратуру при нескольких или многих объектах на ИП.

Способы сигнализации о состоянии объекта и подтверждение выбора или приказа ТУ могут применяться такие же, как и способы ТУ, однако задача сигнализации в ряде случаев существенно упрощается.

Различают следующие виды сигнализации, необходимой диспетчеру:

1. Сигнализация об изменении или нарушении работы объектов, передаваемая независимо от действия диспетчера (предупредительные сигналы, авария).

2. Сигнализация об избирании объекта или о срабатывании исполнительного органа при выполнении диспетчером соответствующей операции (подтверждение).

Сигнализация как первая, так и вторая может быть с обратным адресом или без адреса. В первом случае сигнал с объекта содержит информацию о номере объекта, в то время как во втором такая информация не содержится.

При медленно протекающих производственных процессах с целью упрощения устройств телемеханики на объектах можно передавать с любого объекта общий сигнал при изменении или нарушении работы объекта. Общий сигнал, передаваемый с ИП в виде импульсов тока или путем изменения сопротивления линии, вызывает на ДП автоматический запуск устройства циклического опроса объектов. В момент выбора данного объекта его цепь передачи сигнала разблокируется. Одновременно возникает сигнал на пульте диспетчера. Для устранения влияния возможных совпадений сигнал с объекта передается периодически до разблокировки местных цепей. Такая идея заложена, например, в системах СРП-1 и ЧТ, описанных в гл. 4.

Рассмотренный способ определения адреса объекта может быть применен также для подтверждения операции диспетчера.

Значительный интерес представляет использование для сигнализации устройств ТИ, передающих информацию с объекта на ДП. Так, в системах ТИ с датчиками *R*, *C* или *L*, например в таких, как система ВСТ, каждому объекту может присваиваться различное сопротивление, емкость или индуктивность, включаемые вместо датчи-

ка ТИ при выполнении диспетчером операции. Величина сопротивления, индуктивности или емкости определяет адрес объекта.

Применение современных бесконтактных элементов создает предпосылки для значительного повышения надежности систем телемеханики, а это в свою очередь позволяет использовать описанные способы сигнализации с упрощенной аппаратурой на ИП.

Тем не менее в ряде случаев необходима независимая индивидуальная сигнализация об исполнении операции диспетчера с передачей адреса объекта, выполнившего операцию. Такая передача сигналов может осуществляться теми же способами, как и передача приказов ТУ. Однако устройства обратной сигнализации на ИП могут быть построены более простыми по сравнению с системой передачи приказов ТУ.

Одним из таких наиболее простых способов ТС является передача с объекта колебаний индивидуального импульсного или синусоидального генератора. Частота генератора для каждого объекта выбирается различной и определяет адрес объекта. Генераторы могут быть выполнены на высоконадежных полупроводниковых элементах с малым потреблением энергии.

На ДП индикатор ТС отмечает передачу сигнала, а адрес объекта определяется по частотомеру, например, с цифровым отсчетом. Такой способ ТС имеет недостаток, заключающийся в возможном взаимном влиянии сигналов с различных ИП при одновременном включении генераторов. Взаимные помехи могут быть устранены, если измерение рабочих частот производится независимо, например, язычковым частотомером.

В системах телемеханики с рассредоточенными объектами для медленно протекающих производственных процессов наиболее широкое применение получило ТИ по вызову. При этом по желанию диспетчера или в режиме циклического опроса производятся избирание и подключение к линии одновременно только одного объекта ТИ. Такой способ обеспечивает определение адреса объекта и передачу одного сигнала ТИ в каждый момент времени. Этим устраняются взаимные помехи от различных передатчиков ТИ.

При телеизмерении по вызову существенное значение имеет требование поочередной работы нескольких или многих передатчиков на общий приемник. Для этого необхо-

димо, чтобы система ТИ имела линейную шкалу и взаимозаменяемые датчики.

В системах промышленной телемеханики применяются устройства ТИ с самыми различными методами передачи измеряемого параметра: частотным, частотно-импульсным, широтно-импульсным, время-импульсным, кодово-импульсным, а при небольших расстояниях с проводными линиями — устройства тока и напряжения.

Выбор метода ТИ производится в соответствии с рекомендациями § 5 и в значительной степени определяется тем, какие преобразователи, датчики и другие технические средства являются более простыми, надежными, удобными в эксплуатации и обеспечивают требуемую точность измерений.

В последнее время наметилась тенденция перехода к устройствам ТИ с цифровым отсчетом и с цифропечатанием на электрических пишущих машинках. Одним из таких средств цифрового отсчета является лампа Никси с соответствующим преобразованием измеряемой величины в десятичный код. Необходимо заметить, что преобразование в десятичный код хорошо реализуется в системах ТИ с частотной, время-импульсной и широтно-импульсной модуляциями.

Системы ТИ с цифровым отсчетом, несомненно, будут получать все более широкое применение и, в первую очередь, в системах телемеханики с большим объемом передаваемой информации между ИП и ДП.

5. Методы передачи сигналов телемеханики

В обобщенном виде схема передачи информации ТИ, ТС или приказов ТУ из одного пункта в другой изображена на рис. 5.

Для разделения сигналов, уменьшения влияния помех и возможных изменений параметров канала связи приме-

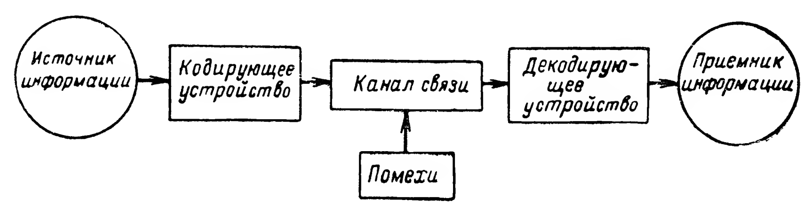


Рис. 5. Схема передачи информации.

няются модуляция сигналов на передающей стороне и демодуляция на приемной стороне.

С выхода модулирующего устройства сигнал передается в виде электрического тока, модулированного по амплитуде, частоте или фазе (АМ, ЧМ, ФМ) при методах непрерывной передачи.

Значительно больше возможностей в выборе методов передачи представляется при импульсной модуляции сигналов. Могут быть построены системы с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ), частотно-импульсной (ЧИМ), фазо-импульсной (ФИМ), широтно-импульсной (ШИМ) и системы с различными видами кодово-импульсной модуляции (КИМ).

Применяются также системы с двойной, а иногда и тройной модуляцией (АМ-ЧМ, ФИМ-ЧМ, ФИМ-АМ и др.).

Рассмотрим, как влияет выбор метода модуляции на передачу сигналов через линию связи.

В простейших симметричных проводных линиях помехи в линии не имеют существенного значения при расстояниях между ДП и ИП меньше 50—100 *км*. Даже для относительно небольших рабочих уровней сигналов помехи в линии во много раз меньше сигнала, т. е. помехоустойчивость метода передачи не имеет существенного значения.

Системы телемеханики с такими каналами должны удовлетворять только требованиям к допустимым изменениям параметров линии связи (сопротивление и утечка линии).

Для устройств ТУ—ТС дискретного действия параметры рассматриваемых линий в нормальных условиях не влияют на работу системы, т. е. и выбор метода передачи не имеет существенного значения. При разработке таких систем телемеханики существенное значение имеет только выбор технических средств, которые как всегда должны обеспечивать наиболее надежные и простые решения.

В отличие от этого изменение параметров линии даже небольшой протяженности может вызвать недопустимую погрешность ТИ, особенно для некоторых методов передачи. Наибольшая погрешность ТИ возникает при амплитудной и амплитудно-импульсной модуляциях, которые поэтому в ТИ почти не применяются.

Влияние параметров линии связи на работу устройств ТУ—ТС и погрешность телеизмерений при других видах модуляции могут быть уменьшены до приемлемой вели-

чины путем соответствующего выбора параметров самой системы даже с линиями большой длины.

При использовании линий связи с относительно высоким уровнем помех (радиолинии, магистральные линии связи и т. п.) особое внимание необходимо обратить на выбор помехоустойчивых методов передачи сигналов.

Искажения принимаемого сигнала зависят не только от уровня и характера помех в канале связи, но и от вида модуляции и параметров телепередачи (уровень сигнала, глубина или индекс модуляции, спектр передаваемых частот).

Различают помехоустойчивость метода передачи и помехоустойчивость технических средств (приемной аппаратуры), реализующих выбранный метод передачи. В первом случае рассматривается влияние помех при одновременном приеме сигнала и помех без учета схемных решений, которые могут быть выбраны для данного метода передачи. Во втором случае рассматривается реальная помехоустойчивость с учетом схемных решений. Схемные решения могут быть и не оптимальными. Такое разделение позволяет сравнить и выбрать рациональный метод передачи для данных условий, а уже затем схемное решение.

Для оценки помехоустойчивости методов передачи акад. В. А. Котельников разработал теорию потенциальной помехоустойчивости. Он показал, что при приеме сигнала и воздействии флуктуационных помех принципиально существует наилучший приемник, названный им «идеальным», который имеет потенциальную (наибольшую) помехоустойчивость для данного метода передачи. Идеальный приемник В. А. Котельникова характеризует предел помехоустойчивости, который не может быть превзойден при данном методе, т. е. позволяет объективно сравнить различные методы передачи по помехоустойчивости. Кроме того, зная идеальный приемник, можно оценить, насколько реальные приемники приближаются к идеальному. Заметим, что во многих случаях удается создать приемники, весьма незначительно отличающиеся от «идеальных».

Приемник В. А. Котельникова сравнивает принятый сигнал, искаженный помехами, с неискаженными образцами сигналов, вычисляет разность их энергий и относит принятый сигнал к тому образцу, для которого разность энергий минимальна.

Для простейшей передачи, когда может быть передан только один из двух сигналов (типа «да — нет», например,

включить или выключить), приемник В. А. Котельникова вычисляет следующие два интеграла и относит принятый сигнал к тому образцу, для которого разность ΔI_1 или ΔI_2 минимальна:

$$\Delta I_1 = \int_0^T [x(t) - A_1(t)]^2 \, dt, \qquad (6)$$

$$\Delta I_2 = \int_0^T [x(t) - A_2(t)]^2 \, dt, \qquad (7)$$

где $A_1(t)$; $A_2(t)$ — функции, соответствующие образцам сигналов;
$x(t)$ — принимаемый сигнал.

В случае телеизмерения возникающая под влиянием помех среднеквадратичная ошибка, приведенная ко всей шкале, для идеального приемника определяется по формуле

$$\delta^2(\lambda_0) = \frac{\sigma^2}{8 \int_0^T \left[\frac{\partial A(\lambda, t)}{\partial \lambda} \right]^2_{\lambda=\lambda_0} dt}, \qquad (8)$$

где σ — удельная интенсивность флуктуационных помех, отнесенная к единице полосы частот;
λ — параметр ТИ, передаваемый сигналом $A(\lambda, t)$.

Реальные помехи в каналах связи могут существенно отличаться от флуктуационных, типа белого шума. При сравнительно широкой полосе частот они часто имеют характер импульсных помех со случайным распределением по амплитуде и во времени. Сужение полосы частот приводит к уменьшению амплитуды и расширению длительности импульсов так, что, начиная с определенной, сравнительно узкой полосы частот, интервалы между импульсами в первом приближении исчезают, и такие помехи в узкой полосе частот можно рассматривать как флуктуационные.

В современных системах телемеханики промышленного назначения рабочая полоса частот в канале связи не превосходит нескольких десятков, а для отдельных систем равна 100—200 *гц*. Помехи при этом могут рассматриваться во многих случаях как флуктуационные.

Для слабых флуктуационных помех, вызывающих в системах ТИ только сдвиг фронтов импульсов, расширение

полосы пропускания канала связи, несмотря на увеличение уровня помех, обычно ведет к повышению помехоустойчивости, так как величина сдвига фронтов импульсов уменьшается. Обратная картина наблюдается при относительно сильных и сильных помехах, вызывающих сбои в передаче сигналов. В этом случае расширение полосы канала приводит к возрастанию помех и числа сбоев, т. е. к ухудшению помехоустойчивости.

Следовательно, существует оптимальная с точки зрения помехоустойчивости полоса пропускания канала связи.

В виде примера на рис. 6 приведена зависимость суммарной среднеквадратичной ошибки ТИ $\Delta\Sigma_{\text{вим}}$ (приведенная) от относительной полосы частот сигнала для времяимпульсной модуляции:

$$\gamma = \frac{\Delta f}{F_{\text{м}}}, \tag{9}$$

где Δf — полоса частот сигнала;

$F_{\text{м}}$ — наивысшая частота передаваемого параметра.

Графики рис. 6 выполнены для идеального приемника, различных отношений сигнал/помеха ρ, приведенных к единице полосы частот:

$$\rho = \frac{U_m}{\sigma \sqrt{F_{\text{м}}}}, \tag{10}$$

где U_m — амплитуда импульса сигнала.

Сплошными линиями нанесены кривые для ограниченного динамического диапазона сигнала (ограниченный уровень сигнала), что имеет место в проводных линиях.

Пунктирными линиями даны кривые для ограниченной средней мощности сигнала. Такое ограничение выполняется в системах импульсной радиопередачи.

На рис. 6 пунктирная линия B разделяет области слабых и сильных помех. Ей соответствует оптимальная по помехоустойчивости полоса частот системы, при которой ошибка $\Delta\Sigma$ минимальна.

Для сравнения методов передачи на рис. 7 приведены зависимости суммарной приведенной ошибки телеизмерений $\Delta\Sigma_{\text{мин}}$ от отношения сигнал/помеха $\rho = \frac{U_m}{\sigma \sqrt{F_{\text{м}}}}$ для некоторых широко применяемых видов модуляции при ограниченном динамическом диапазоне сигнала и оптимальной полосе частот.

Из рис. 7 следует, что при больших помехах частотная модуляция имеет наиболее высокую помехоустойчивость даже по сравнению с импульсно-кодовой модуляцией

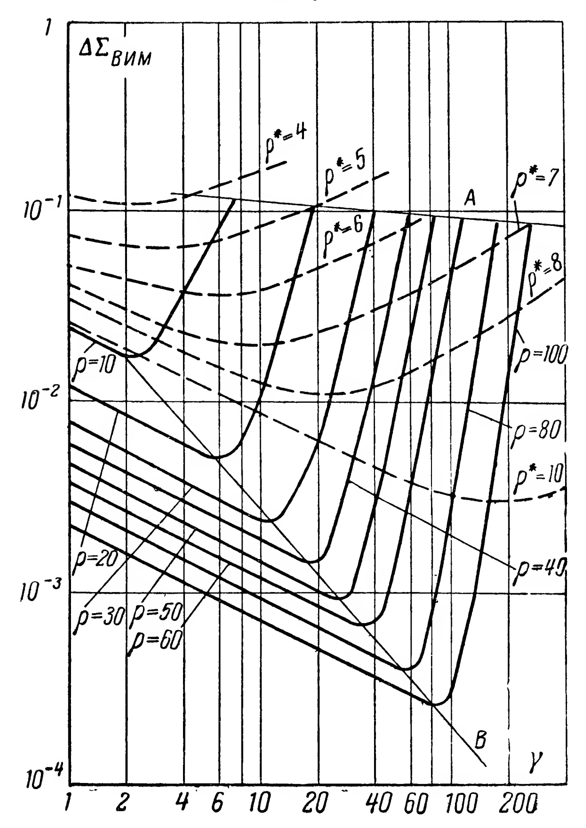


Рис. 6. Зависимость суммарной среднеквадратичной ошибки ТИ $\Delta\Sigma_{\text{ВИМ}}$ от относительной полосы частот сигнала $\gamma = \frac{\Delta f}{F_{\text{м}}}$ для время-импульсной модуляции при различных отношениях сигнал/помеха ρ, приведенных к единице полосы частот,

$$\rho = \frac{U_m}{\sigma \sqrt{F_{\text{м}}}}.$$

в отличие от существовавшей ранее точки зрения о максимальной помехоустойчивости у импульсно-кодовых систем (α_b — скважность бинарного кода). Необходимо заметить,

что с кодовыми системами также может быть получена большая помехоустойчивость, но путем применения более сложных кодов (по сравнению с бинарным). Это значительно усложняет реализацию кодовых систем.

Помехоустойчивость передачи приказов телеуправления и телесигнализации определяется аналогичными способами.

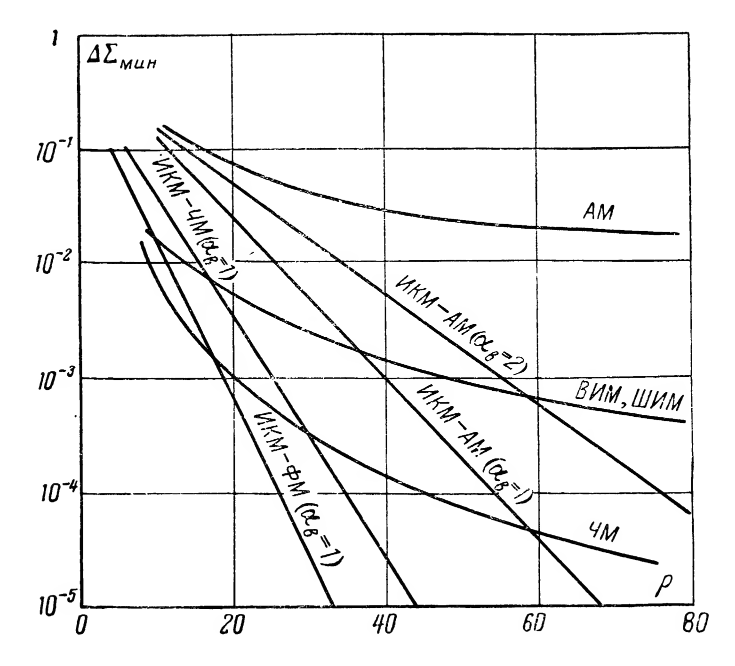


Рис. 7. Зависимость суммарной приведенной ошибки ТИ $\Delta\Sigma_{мин}$ от отношения сигнал/помеха $\rho = \frac{U_m}{\sigma\sqrt{F_м}}$ для различных видов модуляции.

В отличие от ТИ, оценку помехоустойчивости методов передачи здесь целесообразно производить по вероятности подавления сигнала помехой $P_п$ и вероятности ложной команды (сигнализации) $P_л$.

На рис. 8 приведены зависимости $P_п$ и $P_л$ от количества передаваемых двухпозиционных команд N_1 для широкоприменяемых методов разделения сигналов ТУ и ТС при

ограниченном динамическом диапазоне сигнала. Кривые построены при условии

$$\frac{u_m}{\sigma\sqrt{2qF_м \ln 2N_1}}=3,$$

где q — скважность кода.

Этому соответствует одинаковая энергия команды при одинаковом N_1. Из рис. 8 следует, что частотная система имеет значительно более высокую помехоустойчивость по

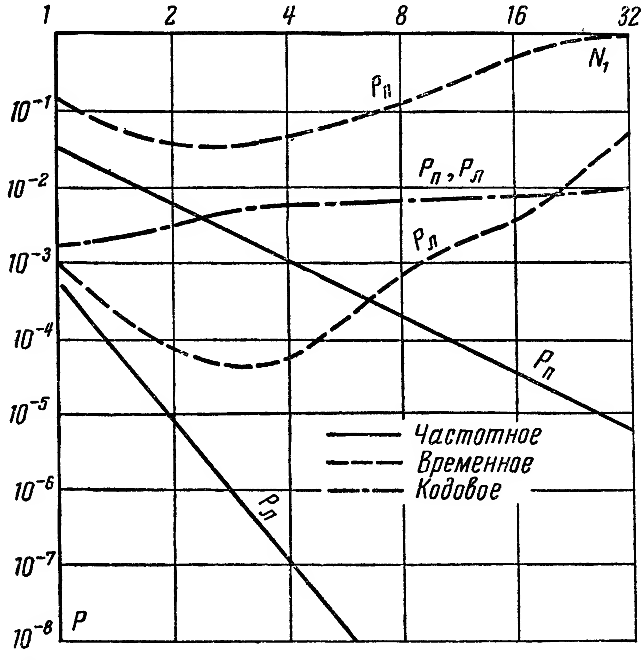


Рис. 8. Зависимость вероятности подавления сигнала помехой $P_п$ и вероятности ложной команды $P_л$ от отношения сигнал/помеха $\rho=\frac{U_м}{\sigma\sqrt{F_м}}$ для различных методов передачи сигналов ТУ при ограниченном динамическом диапазоне сигнала.

сравнению с системами с временным и даже кодовым разделением сигналов при ограниченном динамическом диапазоне сигнала.

В заключение необходимо отметить, что в реальных

условиях помехи могут иметь более сложный характер, а реальная помехоустойчивость конкретных схем может быть значительно меньше потенциальной.

В настоящее время успешно проводятся как теоретические, так и экспериментальные работы по исследованию реальной помехоустойчивости систем телемеханики. Разработаны методика и аппаратура для испытания различных систем.

6. Способы включения ИП в линию связи

Рассмотрим схемы включения ИП в линию связи. Такие схемы определяют структуру и существенно влияют на структурную надежность систем телемеханики с рассредоточенными объектами.

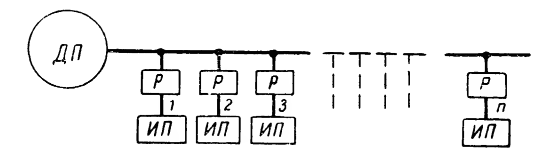


Рис. 9. Схема параллельного включения ИП к линии связи через разделительные устройства P.

На рис. 9—11 приведены схемы параллельного, последовательного и смешанного включения группы из n рассредоточенных ИП в общую проводную линию связи через разделительные устройства P, которые могут быть частью устройств ИП. В схеме смешанного типа отдельные раз-

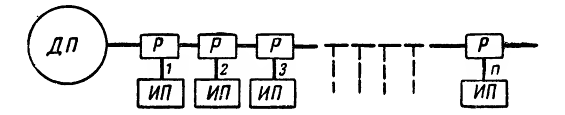


Рис. 10. Схема последовательного включения ИП в линию связи через разделительные устройства P.

делительные устройства выполняют, например, только функции переключающих устройств (рис. 11). Аналогичные схемы применяются и в системах с радиоканалами.

ИП на рис. 9 подключены параллельно через разделительные устройства P к общей линии связи, соединяющей их с ДП. Разделительные устройства во многих случаях

выполняются в виде согласующих трансформаторов. Схема параллельного включения (рис. 9) применяется в системах телемеханики как с частотным, так и с временным разделением сигналов.

При последовательном включении (рис. 10) линия связи разделена на цепочку участков, включенных последовательно через разделительные устройства *Р*.

В системах телемеханики с рассредоточенным переключателем каждое разделительное устройство имеет контакты реле, последовательно включенные в линию и отсоединяю-

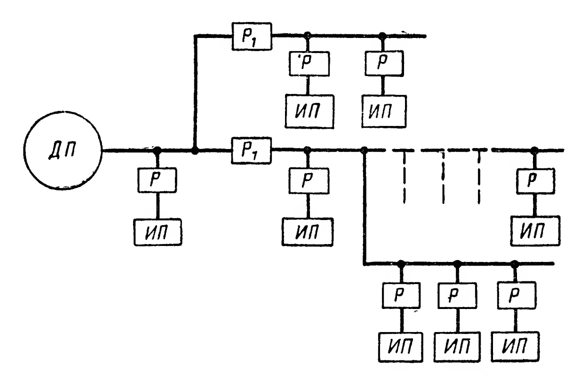


Рис. 11. Схема смешанного включения ИП в линию связи.

щие остальную часть системы в одном из положений реле. При посылке серии избирающих импульсов на каждом такте подключается следующее звено линии и линия «собирается» последовательно во времени.

В системах телемеханики для рассредоточенных объектов, если эти системы работают по схеме рис. 10 и построены на бесконтактных элементах с ППГ, разделительные устройства *Р* выполняются в виде трансформаторов.

При последовательном включении каждое разделительное устройство может выполнять также функции усилителя сигналов подобно тому, как это имеет место в радиорелейных линиях с такой же схемой включения.

Рассмотрим надежность основных схем включения, т. е. систем с параллельным и последовательным включением ИП в линии связи.

Принимаем следующие допущения:

1. Все разделительные устройства в одной и той же схеме одинаковы. Для каждого из них существует вероят-

ность короткого замыкания входа или выхода $P_{кз}$ и вероятность обрыва, например перегорания обмоток $P_{обр}$. Вероятности $P_{кз}$ и $P_{обр}$ данного ИП взаимонезависимы и не зависят от вероятности короткого замыкания или обрыва других ИП.

Вероятности нерабочего состояния данного разделительного устройства $P_{кз}$ и $P_{обр}$ связаны со средней частотой повреждаемости из-за короткого замыкания $f_{кз}$ и обрыва $f_{обр}$ следующими выражениями:

$$\left.\begin{aligned} f_{кз} &= \frac{P_{кз}}{T_{кз}}; \\ f_{обр} &= \frac{P_{обр}}{T_{обр}}, \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

где $T_{кз}$ и $T_{обр}$ — среднее нерабочее время данного разделительного устройства из-за его короткого замыкания и обрыва за время межремонтного цикла.

$$\left.\begin{aligned} T_{кз} &= \frac{1}{k} \lim_{k\to\infty} \sum_{i=1}^{k} T_{i\,кз}; \\ T_{обр} &= \frac{1}{k} \lim_{k\to\infty} \sum_{k=1}^{k} T_{i\,обр}, \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

где k — число повреждений.

2. Линия связи считается абсолютно надежной. Такое допущение упрощает анализ и существенно не изменяет характера результата, так как при учете вероятности короткого замыкания и обрыва одинаковых звеньев линии только увеличиваются соответствующие $P_{кз}$ и $P_{обр}$.

Тогда для схемы параллельного и последовательного включения вероятность повреждения системы из-за короткого замыкания разделительных устройств на землю или на второй провод в двухпроводной линии без учета повреждения вследствие обрыва будет выражаться формулой

$$P = 1 - (1 - P_{кз})^n \quad (13)$$

При $nP_{кз} \ll 1$

$$P \approx nP_{кз}. \qquad (13а)$$

Вероятность нерабочего состояния объекта в системе из-за обрыва разделительных устройств при параллельном включении $P = P_{обр}$, так как обрыв любого разделительного устройства нарушает работу только соединенного с ним ИП.

Для схемы последовательного включения средняя вероятность нерабочего состояния объекта в системе из-за обрыва цепи в разделительных устройствах без учета повреждений вследствие коротких замыканий будет:

$$P = 1 - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(1 - P_{обр})^{n_i}, \qquad (14)$$

где n_i — количество объектов, включенных между ДП и i-м разделительным устройством ($n_i = i$).

При $nP_{обр} \ll 1$

$$P \approx \frac{n+1}{2} P_{обр}. \qquad (14а)$$

Следовательно, если в схеме параллельного включения обрыв в разделительном устройстве нарушает работу только соединенного с ним ИП, то в схеме последовательного включения при таком же обрыве число поврежденных ИП составит в среднем $\frac{n+1}{2}$.

Из полученных выражений также следует, что вероятности нерабочего состояния объекта вследствие короткого замыкания разделительного устройства в системах с параллельным и последовательным включением равны между собой при равных вероятностях короткого замыкания разделительных устройств.

Однако в схеме параллельного включения вероятность нерабочего состояния системы из-за короткого замыкания разделительных устройств или ИП может быть уменьшена до сколь угодно малой величины путем включения ИП в линию через предохранители или ограничители подобно тому, как это делается при включении потребителей элек-

троэнергии в силовую сеть или радиотрансляционных точек в радиотрансляционную сеть.

В схемах параллельного включения для частотных систем ТУ, а также в системах с временным разделением сигналов при использовании в них экспоненциальных преобразователей (см. § 16) аппаратура ИП получается сравнительно простой.

При включении существующих систем ТУ с временным разделением сигналов по схеме, приведенной на рис. 9, на каждом ИП необходимо иметь полукомплект аппаратуры (в ряде случаев неполный), что часто нерационально (при небольшом количестве сигналов на один ИП).

Схема последовательного включения может быть реализована в системах ТУ с временным разделением сигналов с контактным рассредоточенным переключателем или в бесконтактных системах с элементами с ППГ. Такие системы даже в случае построения их на бесконтактных элементах, как показывает проведенный анализ, имеют значительно меньшую структурную надежность.

По схеме последовательного включения могут быть построены и частотные системы телемеханики, однако это нерационально в связи с более низкой структурной надежностью.

Применение схемы последовательного включения с точки зрения надежности может быть оправдано главным образом в тех случаях, когда необходимо усиление сигналов в данной точке линии или необходима коммутация группы ИП в линиях связи с древовидной структурой, если решение такой задачи вызывает трудности при использовании схемы параллельного включения.

Необходимо отметить также, что при последовательном включении (рис. 10) повреждение одного из ИП приводит к повреждению всех объектов, находящихся на большом расстоянии от ДП. Это может вызвать нарушение работы всего телеуправляемого процесса (всего технологического комплекса), что во многих случаях недопустимо.

Таким образом, на основании приведенного анализа целесообразно рекомендовать для систем телемеханики с объектами, рассредоточенными по площади, кустовые схемы линий связи и параллельное включение ИП в линию связи. Для ИП, рассредоточенных вдоль линий связи, целесообразно размещать ДП в центре их участков, а сами ИП подключать к линии параллельно через ограничители или предохранители.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ВЫБОР СТРУКТУРЫ ЛИНИЙ СВЯЗИ

7. Общие характеристики телемеханических линий связи

Рассматривая выбор структуры линий связи, необходимо учитывать ряд следующих требований, характеризующих специфику работы телемеханических линий связи:

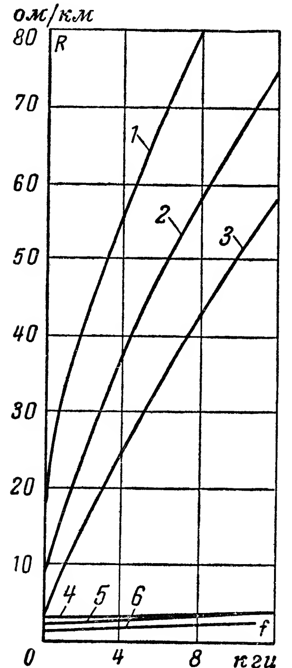


Рис. 12. Зависимость активного сопротивления проводов линии от частоты.

1 — сталь $d = 3$ *мм*; 2 — сталь $d = 4$ *мм*; 3 — сталь $d = 5$ *мм*; 4 — биметалл $d_1 = 3{,}2$ *мм*, $d_2 = 4$ *мм*; 5 — медь $d = 3$ *мм*; 6 — медь $d = 4$ *мм*.

1. Весьма высокие требования к надежности передачи сигналов ТУ в каждый данный момент времени, вытекающие из необходимости обеспечить, с одной стороны, высокую надежность приема рабочей команды и, с другой стороны, достаточную защиту против выполнения ложных команд, которые могут привести к тяжелым последствиям.

2. Необходимо обеспечить передачу сигналов ТИ с малой погрешностью измеряемой величины. Это требование определяет необходимость выбора высокостабильных по коэффициенту передачи первичных, вторичных преобразователей и канала связи.

3. Исключительное значение выбора рода тока, частоты, длительности, амплитуды импульса и других признаков, от которых зависит выбор канала связи и устройств телемеханической системы.

4. Сравнительно высокая стоимость линий связи по отношению к стоимости аппаратуры телемеханики. Так, например, стоимость линейных сооружений или радиоканалов с длиной линий связи больше нескольких километров обычно превышает стоимость телемеханической аппаратуры, а при расстоянии между ДП и ИП больше 100 *км* стоимость каналов достигает 70% и более от общих капитальных затрат на телемеханизацию.

Линии связи в значительной степени определяют общие затраты и надежность систем телемеханики. Они часто являются самой дорогостоящей дефицитной и наименее надежной частью систем телемеханики.

Рассмотрим общие характеристики проводных линий связи.

Проводные линии (воздушные и кабельные) характеризуются активным последовательным сопротивлением, емкостью, индуктивностью и проводимостью (утечкой), а также вторичными параметрами, такими, как затухание и волновое сопротивление. Пропускная способность линии определяется ее полосой пропускания и уровнем помех в линии.

Сопротивление линии постоянному току при температурах, отличных от 20°, определяется выражением:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - 20)] \ [ом], \qquad (15)$$

где R_0 — сопротивление при 20° С;

α — температурный коэффициент.

Для меди $\alpha_м = 0{,}0039$, а для стали $\alpha_с = 0{,}0046$.

Так, при изменении температуры стальной цепи в пределах от —40° до +40° ее сопротивление изменяется на 37%.

Сопротивление переменному току возрастает главным образом из-за поверхностного эффекта. Зависимость активного сопротивления проводов от частоты приведена на рис. 12.

Индуктивность двухпроводной цепи из однородных (не биметаллических) проводов равна:

$$L = \left(4 \ln \frac{a}{r} + k\mu\right) \cdot 10^{-4} \ [гн/км], \qquad (16)$$

где a — расстояние между центрами проводов, *см*;

r — радиус провода, *см*;

μ — относительная магнитная проницаемость материала провода, для меди $\mu_м = 1$, для стали $\mu_с = 140$;

k — табличный коэффициент, учитывающий поверхностный эффект.

Зависимость индуктивности двухпроводных цепей от частоты приведена на рис. 13.

Емкость двухпроводной цепи определяется по формуле

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{a}{r}} \ [ф/км], \qquad (17)$$

где ε — относительная диэлектрическая постоянная (для воздуха ε = 1);

a и r — как и выше, расстояние между центрами проводов и радиус провода, *см*.

Емкость однопроводной цепи:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{18 \ln \frac{2h}{r}} \; [ф/км], \qquad (17а)$$

где h — расстояние от поверхности земли до провода.

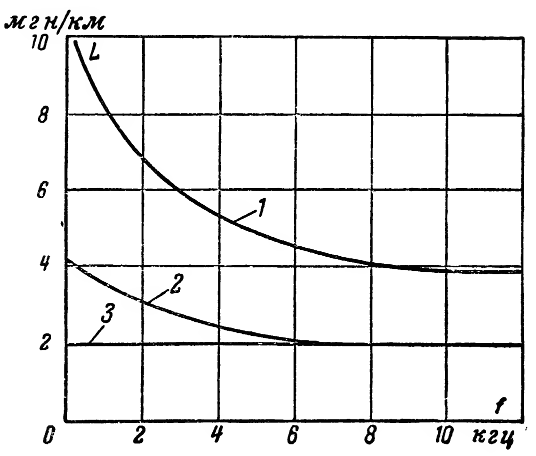


Рис. 13. Зависимость индуктивности двухпроводной цепи от частоты.

1 — сталь $d = 4$ *мм*; *2* — биметалл $d_1 = 3{,}2$ *мм*, $d_2 = 4$ *мм*; *3* — медь $d = 4$ *мм*.

В табл. 2 приведены средние величины параметров двухпроводных кабельных цепей с диаметром жилы d.

Таблица 2

d, *мм*	*R*, *ом/км*	*L*, *мгн/км*	*C*, *мкф/км*
0,5	184	0,7	0,031
0,7	92,5	0,7	0,0325
0,9	56	0,7	0,0325
1,2	31,5	0,7	0,0345

Волновое сопротивление цепи для малых потерь или на высоких частотах определяется по формуле

$$Z \approx \sqrt{\frac{L}{C}}. \tag{18}$$

При нагрузке линии на волновое сопротивление отражения в однородной линии отсутствуют.

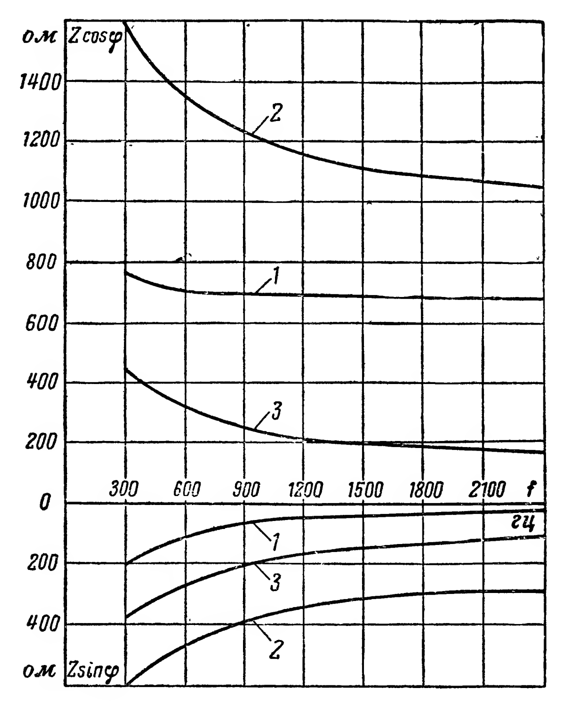


Рис. 14. Зависимость активной ($Z \cos \varphi$) и реактивной ($Z \sin \varphi$) составляющих волнового сопротивления воздушных и кабельных цепей от частоты.

1 — медь $d = 4$ *мм*; *2* — сталь $d = 5$ *мм*; *3* — кабель $d = 1,4$ *мм*.

На рис. 14 приведена зависимость активной ($Z \cos \varphi$) и реактивной составляющей ($Z \sin \varphi$) волнового сопротивления от частоты для воздушных и кабельных цепей.

Зависимость постоянной затухания α [*неп/км*] для различных цепей от частоты приведена на рис. 15.

Если известно затухание b в неперах, которое допускает

система телемеханики по линии связи, то допустимая длина цепи l будет:

$$l = \frac{b}{\alpha}. \qquad (18а)$$

Пример: Определить допустимую длину цепи из стальных проводов диаметром $d=4$ *мм* с расстоянием между проводами $a=60$ *см* на частоте 800 *гц*, если допустимое затухание $b=3$ *неп.*

По кривой рис. 15 $\alpha=0,015$ *нп/км.* Тогда

$$l = \frac{3}{0,015} = 200 \text{ км}.$$

Затухание и проводимость (утечка) воздушной линии в значительных пределах зависят от климатических условий (дождь, иней, гололед), а также от состояния, в котором поддерживается линия связи. Поэтому максимальное

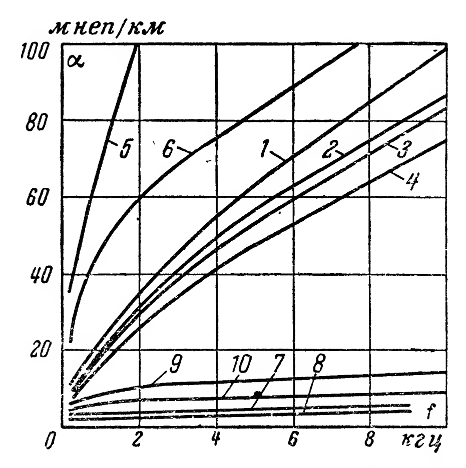


Рис. 15. Зависимость постоянной затухания α различных цепей от частоты.
1 — сталь $d = 3$ *мм*, $a = 20$ *см*; 2 — сталь $d = 3$ *мм*, $a = 60$ *см*; 3 — сталь $d = 4$ *мм*, $a = 20$ *см*; 4 — сталь $d = 4$ *мм*, $a = 60$ *см*; 5 — кабель $d = 0,9$ *мм*; 6 — кабель $d = 1,4$ *мм*; 7 — медь $d = 4$ *мм*, $a = 20$ *см*; 8 — медь $d = 4$ *мм*, $a = 60$ *см*; 9 — биметалл $d_1 = 3,6$ *мм*, $d_2 = 4$ *мм*, $a = 20$ *см*; 10 — биметалл $d_1 = 3,2$ *мм*, $d_2 = 4$ *мм*, $a = 60$ *см*; a — расстояние между проводами.

затухание при неудовлетворительной эксплуатации линии может быть значительно бо́льшим.

Параметры кабельных линий зависят от атмосферных условий значительно меньше. Однако сравнительно редкие повреждения в кабеле требуют большего времени для обнаружения и исправления повреждений.

Надежность работы линий в широких пределах зависит от качества их изготовления и характера эксплуатации, поэтому, например, линии Министерства связи, где, как правило, лучше организована эксплуатация, имеют бóльшую надежность.

В системах телемеханики с рассредоточенными объектами все более широкое применение должны получить радиоканалы на ультракоротких волнах, особенно в связи с применением полупроводников и других высоконадежных элементов в приемно-передающей аппаратуре. Для расстояний между ДП и ИП до 20—50 *км* целесообразно применять радиостанции, рассчитанные для работы без дежурного персонала, а при бóльших расстояниях — радиорелейные линии. Надежность таких радиоканалов может быть получена не меньше, чем надежность проводных линий связи.

Типовые радиоканалы и проводные линии с частотным уплотнением рассчитаны на полосу пропускания телефонного канала от 300—400 до 2 700—3 200 *гц*.

Применяется также дополнительное уплотнение телефонных каналов каналами тонального телеграфирования с полосой пропускания каждого канала 90—180 *гц*. Такие телеграфные каналы могут быть также использованы в системах телемеханики.

Для систем с рассредоточенными объектами, питание которых осуществляется от единой силовой сети переменного тока (нефтепромыслы, шахты, заводы и т. п.), значительный интерес представляют каналы связи по низковольтным силовым линиям.

В настоящее время в энергосистемах уже широко применяются высокочастотные каналы связи по высоковольтным линиям электропередачи, отличающиеся высокой надежностью работы.

В последние годы в Советском Союзе и за рубежом начинают применять высокочастотные каналы не только по высоковольтным, но и по низковольтным сетям переменного тока. Создание таких каналов для телемеханики облегчается тем, что для современных систем телемеханики требуется значительно меньшая полоса частот по сравнению с телефонной передачей, а это позволяет создать помехоустойчивые высоконадежные каналы связи при сравнительно небольшой мощности радиопередатчика.

Выбор каналов связи должен производиться как результат сопоставления и технико-экономических расчетов.

8. Выбор структуры проводных линий связи

При создании систем телемеханики для рассредоточенных объектов возникает задача выбора структуры проводных линий связи, которую в общем случае необходимо решать с учетом оконечной аппаратуры телемеханики, зависящей от структуры линий. Общая задача синтеза систем телемеханики, включая линии связи, еще не решена, поэтому здесь рассматривается частная задача выбора линий связи при допущении, что зависимость структуры линий от выбора оконечной аппаратуры достаточно слабая. Такая связь обычно мала, если стоимость линий связи в несколько раз больше стоимости оконечной аппаратуры, что часто имеет место.

Основные структуры линий связи, приведенные в § 2, анализируются при условии равномерного распределения объектов телемеханики по площади, как это, например, имеет место на нефте- и газопромыслах и в некоторых других отраслях. Далее рассмотрены системы с ИП, рассредоточенными вдоль линии.

При выборе структуры проводных линий весьма важным критерием является относительная длина линий связи, характеризующая в известной мере капитальные затраты. Значение этого критерия возрастает с увеличением стоимости линий, которая, как указывалось выше, во многих случаях превышает стоимость оконечной аппаратуры.

Минимальную длину на один ИП имеет однофидерная линия. Суммарная длина ее L_0 при равномерном распределении ИП, рациональном их соединении и расположении ДП вблизи центра системы в одном из пунктов может быть найдена по формуле:

$$L_0 = l_0(N-1), \tag{19}$$

где l_0 — расстояние между соседними ИП;
N — число пунктов.

Относительную длину однофидерной линии целесообразно принять за единицу, а длину других линий при равном числе пунктов — относить к ее длине. Тогда для радиальной и кустовой линии относительная длина может быть выражена следующими эмпирическими формулами:

$$\frac{L_p}{L_0} \approx \frac{\sqrt{N}-1}{2}; \tag{20}$$

$$\frac{L_к}{L_0} \approx \frac{N-1+0{,}12(m-2)^2}{N-1}. \tag{21}$$

Эти зависимости приведены на рис. 16. Более точно определенная длина при условии прокладки линий по прямоугольной сетке отмечена на рис. 16 кружками. Как видно из рис. 16, формула (21) обеспечивает достаточно малую погрешность при числе кустов $4<m<24$ и $m \ll N$, т. е. для случаев, представляющих наибольший практический интерес.

Из рис. 16 также следует, что длины кустовой и однофидерной линий различаются незначительно, если выбрано соответствующее число кустов. Радиальная линия при $N>10$ имеет значительно бо́льшую длину.

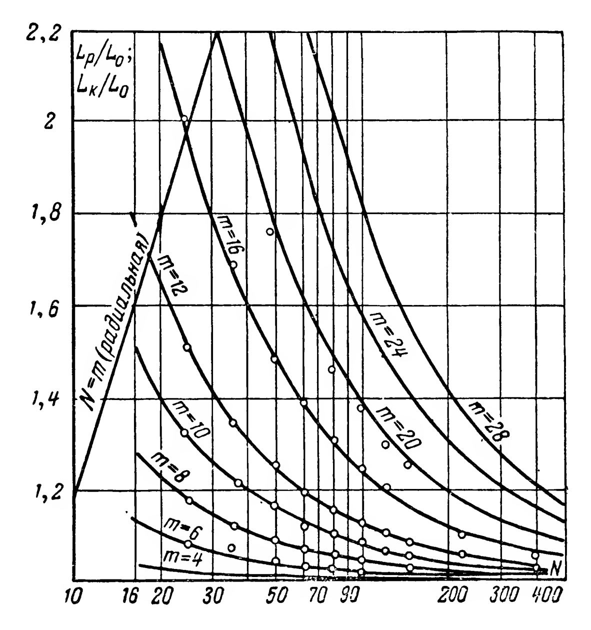


Рис. 16. Зависимость относительной длины линии связи от количества объектов в системе N.

Надежность работы системы телемеханики зависит от помехоустойчивости системы, а также от надежности работы оконечной аппаратуры и линий связи. В промышленной телемеханике наибольшую ненадежность имеет во многих случаях линия связи, тем более, что современная оконечная аппаратура может быть построена на базе высоконадежных элементов, а при длине проводной линии меньше 50—100 *км* помехоустойчивость системы первостепен-

ного значения не имеет. Поэтому с целью выбора представляет значительный интерес анализ надежности линий.

Ниже рассматривается надежность однофидерной, радиальной и кустовой линий. Древовидная схема, если нет аппаратуры в промежуточных пунктах, включенной последовательно в линию связи, относится к кустовой.

Критерием оценки надежности целесообразно выбрать среднее относительное время, в течение которого объект системы находится в нерабочем состоянии из-за повреждения линии. В непрерывно эксплуатируемых системах эта величина весьма существенна и может быть известна из опыта работы. Если принять, что возможны только два состояния системы — рабочее и нерабочее, а повреждаемость линии имеет случайный характер, то указанная величина найдется как вероятность P нерабочего состояния одного пункта системы из-за повреждения линии, т. е.

$$P = \lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{н}i}}{\sum_{i=1}^{n} (t_{\text{н}i} + t_{\text{р}i})}, \qquad (22)$$

где $t_{\text{н}i}$ и $t_{\text{р}i}$ — время нерабочего и рабочего состояний при повреждении линии.

Вероятность нерабочего состояния или, сокращенно, вероятность повреждения P связана со средней частотой повреждаемости $f_{\text{п}}$ простым выражением

$$f_{\text{п}} = \frac{P}{t_{\text{н}}},$$

где $t_{\text{н}}$ — среднее нерабочее время за межремонтный цикл.

Введем величину P_1 — вероятность того, что отрезок линии длиной l_0 находится в нерабочем состоянии. Будем считать, что вероятность P_1 для произвольно выбранного отрезка линии длиной l_0 постоянна и не зависит от состояния других участков линии.

Тогда вероятность повреждения участка линии длиной l будет:

$$P_l = 1 - (1 - P_1)^{\frac{l}{l_0}}. \qquad (23)$$

Допустим вначале, что повреждение в любой точке вызывает нарушение работы всех объектов, подключенных

к данному участку линии. Этому соответствует короткое замыкание на линии.

Для однофидерной структуры с общей длиной линии $L_0=l_0\ (N-1)$ повреждение в произвольной точке вызывает нарушение работы всех пунктов. Тогда вероятность повреждения будет:

$$P_0 = 1-(1-P_1)^{N-1}. \qquad (24)$$

При $NP_1 \ll 1$ вероятность

$$P_0 \approx P_1(N-1). \qquad (24а)$$

Для кустовой структуры длина линии $l_к$, повреждение которой вызывает нарушение работы объектов данного куста, будет:

$$l_к = \frac{L_к}{m} = \frac{N-1+0{,}12\,(m-2)^2}{m}\, l_0, \qquad (25)$$

а вероятность нерабочего состояния одного пункта найдется по формуле

$$P_к = 1-(1-P_1)^n, \qquad (26)$$

где

$$n = \frac{N-1+0{,}12(m-2)^2}{m}. \qquad (26а)$$

При $nP_1 \ll 1$

$$P_к \approx P_1 \frac{N-1+0{,}12\,(m-2)^2}{m}. \qquad (27)$$

В радиальной схеме объекты соединены с ДП отдельными линиями, длина которых $l_р$ лежит в пределах

$$l_0 < l_р < l_0(\sqrt{N}-1). \qquad (28)$$

Средняя вероятность повреждения одного пункта радиальной линии

$$P_р = \frac{\sum\limits_{i=1}^{N}\left[1-(1-P_1)^{\frac{l_{рi}}{l_0}}\right]}{N}. \qquad (29)$$

При $P_1\sqrt{N} \ll 1$

$$P_р \approx P_1 \frac{\sqrt{N}-1}{2}. \qquad (29а)$$

На рис. 17 приведены зависимости $\frac{P_к}{P_0} = \varphi(N)$ и $\frac{P_р}{P_0} = \varphi(N)$ при $P_к \ll 1$ и $P_р \ll 1$. Из рис. 17 следует, что надежность кустовой линии при соответствующем выборе числа кустов незначительно отличается от надежности радиальной линии и во много раз превышает надежность однофидерной линии.

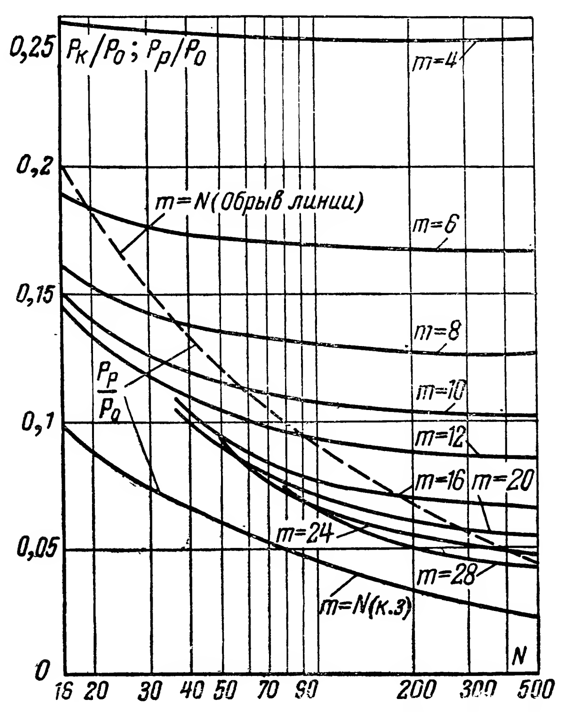


Рис. 17. Зависимость отношения вероятности повреждения радиальной $P_р$ и кустовых линий $P_к$ к вероятности повреждения однофидерной линии P_0 от количества объектов в системе N.

Выше была рассмотрена надежность при условии, если повреждение вызывает нарушение работы всех пунктов, подключенных к данному участку линии. Этому соответствует короткое замыкание на линии.

При обрывах в радиальной линии также всегда происходит нарушение работы отдельных пунктов. Однако в кустовой и однофидерной линиях обрыв приводит в среднем

только к нарушению работы половины всех пунктов, подключенных к данному участку линии. Следовательно, при обрывах относительная ненадежность радиальной линии в среднем возрастает в 2 раза. Этому соответствует пунктирная кривая на рис. 17.

В реальных условиях возможны как короткое замыкание, так и обрыв линии, поэтому кривая, учитывающая обрыв и короткое замыкание, на рис. 17 будет проходить между кривыми для радиальной линии. Ее местоположение зависит от вероятности короткого замыкания и обрыва линии, которые определяются опытным путем.

Из рис. 17 следует, что надежность кустовой линии может превышать надежность радиальной линии.

Условие высокой структурной надежности в известной мере противоречит условию меньшей длины линии. Так, наибольшую надежность имеет радиальная линия, а минимальную длину — однофидерная.

Выбирая структуру линий, следует предъявлять требование высокой надежности при относительно небольшой длине. Поэтому «добротность» линии целесообразно оценивать коэффициентом

$$\gamma = \frac{P_0 L_0}{PL}, \tag{30}$$

где P — вероятность повреждения рассматриваемой линии;
L — суммарная длина рассматриваемой линии.

Для однофидерной линии γ_0 принят равным единице.

Для кустовой и радиальной линии коэффициенты $\gamma_к$ и $\gamma_р$ при $NP_1 \ll 1$ определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \gamma_к &= \frac{P_0 L_0}{P_к L_к} = \frac{m(N-1)^2}{[N-1+0{,}12(m-2)^2]^2}; \\ \gamma_р &= \frac{P_0 L_0}{P_р L_р} = \frac{4(\sqrt{N}+1)}{\sqrt{N}-1}. \end{aligned}\right\} \tag{30а}$$

На рис. 18 дана зависимость $\gamma_к = \varphi(m)$ для кустовой линии, а на рис. 19 — зависимость $\gamma_р = \varphi(N)$ для радиальной линии. Пунктирная кривая на рис. 19 соответствует пунктирной кривой на рис. 17 (обрыв линии).

Из рис. 18 и 19 следует, что кустовые линии имеют значительно большую добротность, величина которой зависит от количества пунктов N и количества кустов m. Для заданного числа пунктов всегда есть оптимальное

число кустов $m_{опт}$, при котором коэффициент $\gamma_к$ имеет максимальное значение.

Оптимальное значение $m_{опт}$ определяется путем дифференцирования по m. Решение сводится к решению уравнения

$$N = 0{,}36m_{опт}^2 - 0{,}48m_{опт} + 0{,}52. \quad (31)$$

Зависимость $m_{опт} = \varphi(N)$ приведена на рис. 20.

В результате анализа можно сделать следующие выводы:

1. Лучшую структурную добротность имеет кустовая линия. Это дает основание рекомендовать кустовую ли-

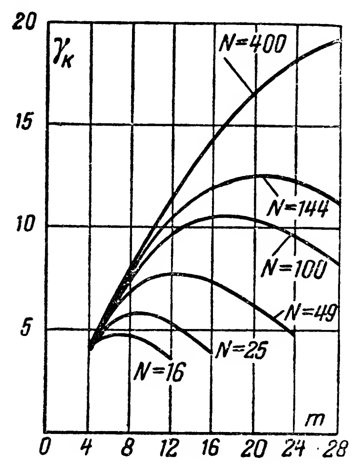


Рис. 18. Зависимость добротности линии от количества кустов m при различном числе объектов N.

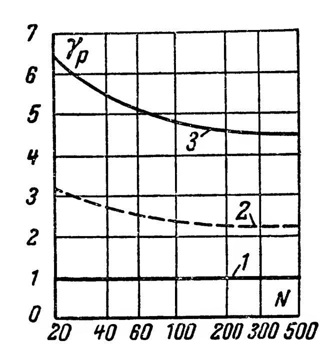


Рис. 19. Зависимость относительной добротности радиальной и однофидерной линии от числа объектов в системе N.

1 — однофидерная; *2* — радиальная (обрыв линии); *3* — радиальная (короткое замыкание).

нию для объектов, рассредоточенных по площади, при числе пунктов $N \gg 1$.

2. Кривые $\gamma_к = \frac{L_0 P_0}{L_к P_к} = \varphi(m)$ имеют пологие максимумы (рис. 18). При уменьшении или увеличении m в 1,5 раза по сравнению с оптимальным значением $m_{опт}$ коэффициент $\gamma_к$ уменьшается примерно на 10 %. Поэтому число кустов m можно выбрать в 1,5—2 раза меньшим или бо́льшим $m_{опт}$ без значительного ухудшения структурной добротности линии.

3. Если сокращение длины линии имеет большее значение, чем повышение ее структурной надежности, то необходимо выбрать число кустов $m < m_{опт}$, а в противоположном случае $m > m_{опт}$.

4. Полученные результаты основывались на допустимой средней вероятности нерабочего состояния участков линии, в то время как при кустовой структуре могут быть кусты с фидерами различной длины. Если же исходить из допустимой максимальной вероятности нерабочего состояния, то оптимальное значение $m_{опт}$ будет близко к $\sqrt{N}$.

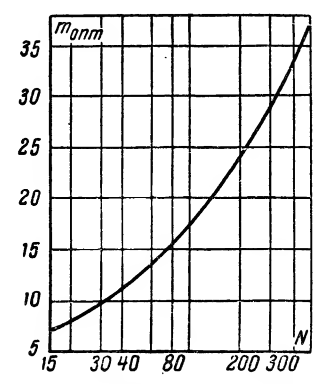


Рис. 20. Зависимость оптимального количества кустов $m_{опт}$ от числа объектов в системе N.

5. Для объектов, рассредоточенных вдоль одной общей линии связи (трубопроводы, оросительные каналы и т. п.), с точки зрения повышения добротности линии целесообразно увеличивать количество ДП, размещая их равномерно по длине, или при одном ДП располагать его посредине линии. Это уменьшает длину линии каждого „куста“ $l_к$, т. е. повышает общую надежность системы примерно так же, как повышает надежность переход от однофидерной схемы линии к кустовой при равномерном распределении объектов по площади.

9. Выбор структуры радиолиний

К простейшим системам радиотелемеханики может быть отнесена система, осуществляющая по радиоканалу только контроль за работой объектов, рассредоточенных по площади или вдоль линий.

Для телеизмерения параметров на контролируемых объектах (давление, уровень, расход и т. п.) и для сигнализации о состоянии объектов в системе производится только односторонняя передача информации на ДП. На каждом контролируемом объекте с этой целью устанавливается радиопередатчик, а на ДП — один или несколько радиоприемников (рис. 21).

Система радиотелеконтроля может применяться, если контролируемые объекты в достаточной степени автоматизированы и не требуют ТУ. Применение такой системы, например, целесообразно на многих нефтескважинах с фонтанным способом эксплуатации, а также при центральной диспетчеризации в тех случаях, когда оперативное ТУ осу-

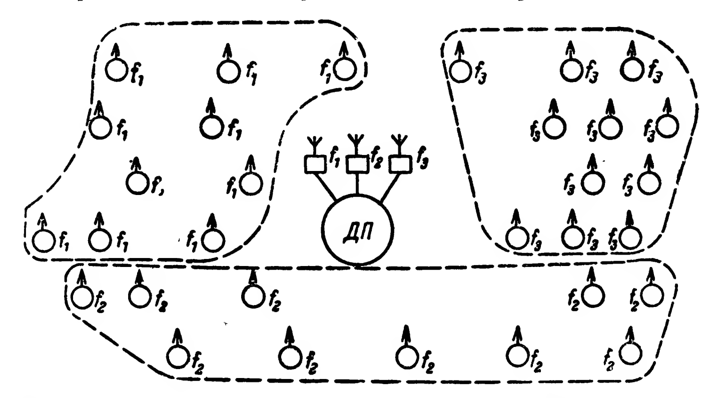


Рис. 21. Система контроля рассредоточенных объектов с ДП по радиоканалам.
f_1, f_2, f_3 — несущие частоты радиостанций.

ществляется системами районной диспетчеризации (трубопроводы, оросительные системы и т. п.).

Количество информации, передаваемой с каждого контролируемого промышленного объекта, весьма незначительно, поэтому радиопередатчик объекта может включаться эпизодически или по определенной программе, так что среднее относительное время работы передатчика равно

$$q = \lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{\text{р}\,i}}{\sum_{i=1}^{n} (t_{\text{р}\,i} + t_{\text{н}\,i})} \qquad (32)$$

(может быть выбрано $q \ll 1$),

где $t_{\text{р}\,i}$ — время передачи сигналов при i-м включении передатчика;

$t_{\text{н}\,i}$ — пауза в работе передатчика после i-го его включения.

Уменьшение q достигается сокращением времени каждой передачи, а для повышения надежности передачи отдельные сигналы повторяются.

При условии $q \ll 1$ и дефицитности радиоканалов (количество выделенных радиоволн) группа радиопередатчиков может работать на общей волне на один радиоприемник на ДП, как это, например, выполнено в системе СРП-1, описанной в гл. 4.

Для определения на ДП номера объекта каждому контролируемому объекту в группе присваивается своя кодовая комбинация временного или частотного кода на поднесущих частотах. Выбор одного постоянно включенного приемника на ДП для группы объектов также упрощает аппаратуру на ДП.

Рассмотрим вероятность сбоя в передаче сигналов в такой системе.

Будем считать, как это часто имеет место, что сигнал с контролируемого объекта не проходит, если он совпадает во времени с передачей сигналов с других объектов группы, состоящей из n одинаковых передатчиков, работающих на одной волне, при числе групп $m=\frac{N}{n}$, где N — общее количество контролируемых объектов.

Если принять, что передача каждого сигнала носит случайный характер, не зависящий от других одинаковых объектов, то q — вероятность передачи сигнала с одного передатчика, равная относительному времени его включения,

$$q = fT, \tag{32a}$$

где f — средняя частота передачи сигналов с объекта;
T — среднее время передачи сигнала с объекта за один цикл.

Вероятность передачи сигнала с n объектов, работающих на одной волне, выражается формулой:

$$P_1 = 1 - (1 - q)^n. \tag{33}$$

Вероятность передачи по меньшей мере двух сигналов с n передатчиков по общему радиоканалу (вызывающая сбой):

$$P_c \approx \sum_{i,k}^{n} q_i q_k = \frac{n(n-1)}{2} q^2. \tag{33a}$$

Пример. Количество передатчиков в группе $n=20$; с каждого объекта в среднем передается один сигнал в час $\left(\text{т. е. } f = \frac{1}{3600}\left[\frac{1}{сек}\right]\right)$ при продолжительности передачи $T = 0{,}5$ *сек*, тогда

$$P_с \approx \frac{20(19)}{2}\left(\frac{0{,}5}{3\,600}\right)^2 = 3{,}6\cdot 10^{-6}.$$

Задаваясь вероятностью $P_с$ и средним числом передаваемых сигналов в единицу времени, легко определить допустимое время передачи одного сигнала и число передатчиков в группе.

В системах промышленной телемеханики с малым количеством информации, передаваемой с ДП на объекты и с объектов на ДП при $q \ll 1$, также целесообразно иметь группы объектов, работающих на одной волне, с кодовым разделением сигналов внутри группы. Передача приказов с ДП на объект при этом производится на одной волне, а сигналов с объектов на ДП — на другой.

Все радиоприемники на ДП и на управляемых объектах могут быть включены постоянно, а радиопередатчики только во время передачи сигналов ТУ, ТС или ТИ. Так же, как и в системах телемеханики с проводными каналами, во многих случаях целесообразно отдать предпочтение передаче сигналов с объектов на ДП. Для этого во время приема сигналов радиопередатчик на ДП выключается.

В качестве радиоканала могут быть также использованы типовые радиорелейные линии или высокочастотные каналы по высоковольтным линиям электропередачи. При этом структура линий связи существенно не отличается от структуры уплотненных проводных линий.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

10. Общие сведения

В последние годы в связи с все расширяющимся фронтом работ проводятся исследования и разработка систем телемеханики на базе высоконадежных ферромагнитных, полупроводниковых и других элементов. Помимо общей тенденции перехода на магнитные и полупроводниковые элементы и, в частности, на перспективные сочетания фер-

рито-транзисторных блоков, определились следующие три основных направления:

1. Применение ферромагнитных элементов с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ), а также их сочетаний с полупроводниками в распределителях и других схемах избирания объектов, в схемах передачи команд управления и в устройствах сигнализации. Получены интересные результаты по созданию феррито-транзисторных блоков для выполнения различных функций ТУ—ТС. Разработаны и начинают применяться бесконтактные системы ТУ на базе таких элементов. Проводится разработка устройств ТИ на базе мультивибратора Роера с полупроводниковыми триодами и ячейкой с ППГ.

2. Создание бесконтактных частотных реле и частотных устройств для избирания объекта ТУ—ТС. Частотные реле, состоящие из частотного избирателя и релейного элемента, разрабатываются как на основе электромеханических полосовых фильтров и резонаторов (камертонных, струнных и язычковых), так и на базе электрических фильтров и резонансных контуров с ферритовыми и альсиферовыми сердечниками, имеющими сравнительно высокую добротность на низких частотах.

Последнее направление оказалось весьма плодотворным и перспективным для создания простых и надежных частотных систем телемеханики, в первую очередь для массовых рассредоточенных объектов. Только в 1958 г. такая аппаратура изготовлена примерно для 1 600 исполнительных пунктов (для нефтяной промышленности).

Сочетание ферромагнитных и полупроводниковых элементов находит все более широкое применение. Имеет место тенденция перехода с электромеханических элементов на электрические контуры и фильтры.

В области частотных и частотно-импульсных систем ТИ также начинают применяться устройства с полупроводниковыми и магнитными элементами.

3. Разработка устройств ТИ—ТУ на базе новых экспоненциальных преобразователей и новых высокостабильных импульсных генераторов, описанных в этой главе.

Если основные узлы систем ТУ с элементами с ППГ и частотных систем с электрическими контурами и фильтрами имеют трансформаторы, полупроводники, сопротивления и конденсаторы, то экспоненциальные преобразователи и импульсные генераторы состоят только из сопротивлений, конденсаторов и полупроводников. Это в ряде случаев су-

щественно упрощает аппаратуру, повышает ее стабильность и позволяет согласовывать систему с каналом связи более простыми средствами.

В настоящее время уже разработана и начинает внедряться система ТИ с экспоненциальными преобразователями.

11. Частотные реле с последовательным электрическим контуром

Простейшим частотным реле, не требующим усилителей и местных источников питания при проводных линиях длиной до 10—15 *км*, является реле с последовательным резонансным *LC*-контуром (рис. 22). Индуктивность контура выполняется в виде автотрансформатора, в понижающую обмотку которого включено исполнительное реле. При

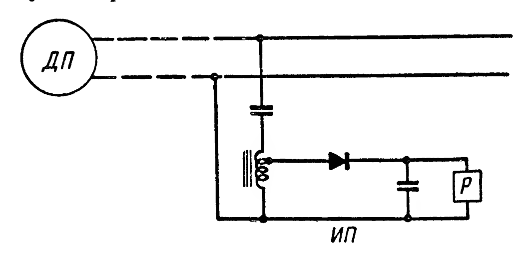


Рис. 22. Схема включения в линию связи частотного реле с последовательным *LC*-контуром. *Р* — исполнительное реле.

передаче с ДП колебания с присвоенной данному объекту резонансной частотой на выходной обмотке автотрансформатора напряжение максимально и достаточно для срабатывания исполнительного реле, которое может быть выполнено в виде магнитного усилителя или нейтрального электромагнитного реле (включенного через диод) [1].

Для получения сравнительно высокой добротности контура

$$Q = \frac{\omega L_к}{r_к}, \qquad (34)$$

определяющей селективность по частоте, а также выходной мощности, достаточной для срабатывания электромаг-

[1] Такие частотные реле предложены и разработаны в Институте автоматики и телемеханики Академии наук СССР [Л. 21].

нитного реле, применяется индуктивность, намотанная на альсиферовом торе, например ТЧ-60, с несколькими отводами для выбора уровня срабатывания реле. Для настройки контура с такой индуктивностью на резонанс в сравнительно широком диапазоне звуковых частот (например, 70—350 или 400—3 000 *гц*) достаточно изменять только емкость контура. Это значительно упрощает изготовление и унификацию частотных реле.

На рис. 23 приведена зависимость добротности ненагруженного контура от частоты $Q=\varphi(f)$ при намотке тора ТЧ-60 разными типами проводов.

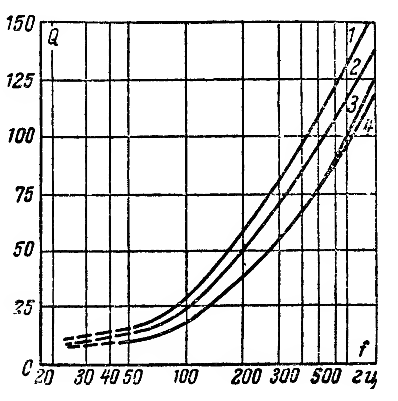


Рис. 23. Зависимость добротности ненагруженного *LC*-контура от частоты при намотке индуктивности на альсиферовом торе ТЧ-60.

1 — 6 500 витков ПЭВ 0,31 *мм*; *2* — 6 500 витков ПЭВ 0,33 *мм*; *3* — 5 500 витков ПЭЛШО 0,31 *мм*; *4* — 4 300 витков ПЭЛШО 0,31 *мм*.

Активное сопротивление нагруженного контура при резонансе выбирается в несколько раз бо́льшим сопротивления линии связи и внутреннего сопротивления генератора. Соотношение между нагрузкой и сопротивлением контура при резонансе определяется допустимым ухудшением резонансных свойств ненагруженного контура.

На рис. 24 приведена упрощенная эквивалентная схема при резонансе частотного реле с последовательным контуром, включенным в линию, при выполнении условия:

$$\omega L_л < r_л \ll \frac{1}{\omega C_л}, \qquad (35)$$

где $L_л$, $r_л$, $C_л$ — общие индуктивность, последовательное сопротивление и емкость линии.

На рис. 24 r_i — внутреннее сопротивление звукового генератора; $r_к$ — сопротивление контура при резонансе; $r'_н$ — сопротивление нагрузки, пересчитанное в контур.

Так, для воздушной стальной двухпроводной цепи диаметром 4 *мм*, длиной 10 *км*, на частоте 200 *гц*

$$\omega L_л = 110 \text{ ом}; \; r_л = 140; \; \frac{1}{\omega C_л} = 16 \text{ ком}.$$

Расчет контура может быть выполнен, например, при заданной линии и зависимости $Q=\varphi(f)$ (рис. 23).

Коэффициент полезного действия частотного избирателя при резонансе будет:

$$\eta = \frac{r'_{н}}{r_i + r_{л} + r_{к} + r'_{н}}. \qquad (36)$$

Резонансные свойства частотного реле определяются добротностью нагруженного контура.

$$Q = \frac{\omega L_{к}}{r_i + r_{л} + r_{к} + r'_{н}}, \qquad (37)$$

а его амплитудно-частотная характеристика без учета феррорезонансных явлений (при небольших уровнях) рассчитывается по формуле

$$\frac{i(f)}{i_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}} \approx \frac{U_f}{U_0}, \qquad (38)$$

где U_f — выходное напряжение контура на частоте f;

U_0 — выходное напряжение контура при резонансе (f_0)

На рис. 25 и 26 приведены резонансные кривые контуров для нескольких значений Q.

Для контура с индуктивностью, имеющей 5 500 витков и намотанной проводом ПЭШО-0,31 на тороидальном сердечнике ТЧ-60, рабочее напряжение в линии связи примерно равно 20 *в*. Дальнейшее повышение напряжения в линии вызывает увеличение влия-

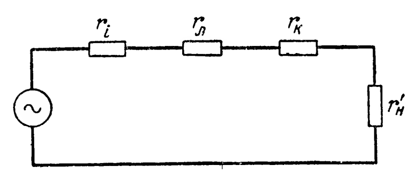


Рис. 24. Эквивалентная схема частотного избирателя с последовательным LC-контуром при резонансе.

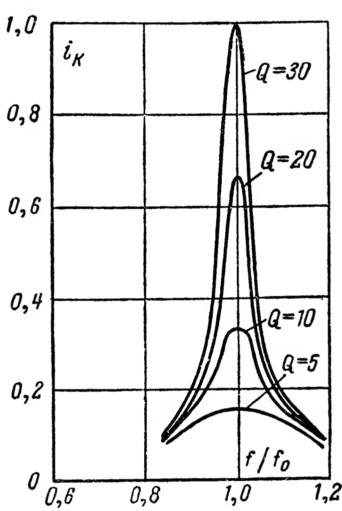


Рис. 25. Зависимость тока в последовательном контуре $i_{к}$ от частоты при различной добротности контура Q.

ния феррорезонансных явлений до недопустимой величины (увеличение несимметрии резонансной кривой).

При допустимом напряжении на выходе реле от соседней резонансной частоты, в 6 раз меньшем резонансного

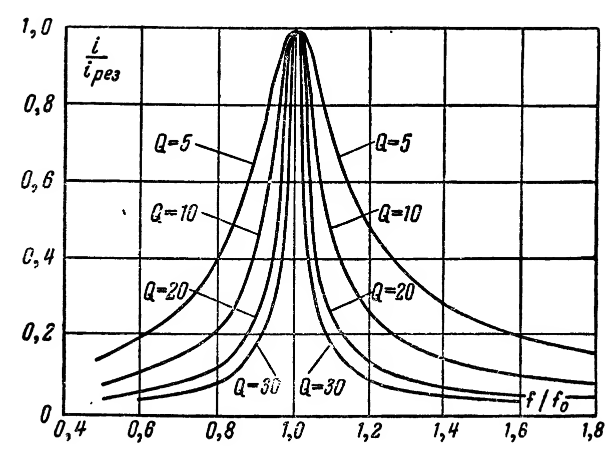


Рис. 26. Резонансные кривые последовательного LC-контура при различной его добротности Q.

напряжения, в диапазоне частот 60—350 *гц* размещается 10—12 рабочих частот, а в диапазоне 400—3 000 *гц* — примерно 20 частот.

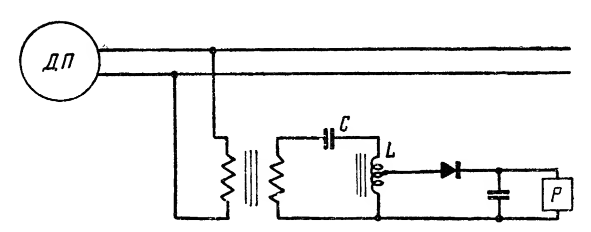


Рис. 27. Схема включения частотного реле с LC-контуром в линию связи через согласующий трансформатор.

Генератор на ДП при работе с описанными частотными реле должен удовлетворять сравнительно низким требованиям. Допустимы нестабильность частоты генератора 1—2%, нестабильность выходного напряжения 5—10% и уровень высших гармоник не больше 10—12%.

Частотные системы телемеханики с описанными после-

довательными LC-контурами сравнительно широко применяются на нефтепромыслах и начинают применяться в других отраслях народного хозяйства.

Увеличение дальности действия в несколько раз (до 40—50 *км*) может быть получено, если на входе ИП включить понижающий трансформатор, уменьшающий влияние линии (рис. 27).

При этом добротность нагруженного контура Q и к. п. д. η без учета потерь в трансформаторе с допущениями, отмеченными выше, будут:

$$Q \approx \frac{\omega L_{\text{к}}}{\frac{r_i + r_{\text{л}}}{n^2} + r_{\text{к}} + r'_{\text{н}}}; \quad (39)$$

$$\eta \approx \frac{r'_{\text{н}}}{\frac{r_i + r_{\text{л}}}{n^2} + r_{\text{к}} + r'_{\text{н}}}, \quad (40)$$

где n — коэффициент трансформации согласующего трансформатора.

12. Двухконтурные фильтры

Резонансный LC-контур как частотный избиратель отличается максимальной простотой, однако он имеет сравнительно низкую селективность по частоте при больших расстройках $\left(Q^2\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2 \gg 1\right)$.

Для уменьшения взаимного влияния частотных реле с резонансными контурами интервал между соседними резонансными частотами выбирается в несколько раз больше полосы пропускания контура. При этом диапазон частот используется неэффективно.

Следовательно, частотные реле с резонансными контурами целесообразно применять в тех случаях, когда есть достаточный запас по полосе частот для всей системы. Это имеет место в сравнительно простых системах телемеханики, для которых проблема эффективности передачи информации не имеет первостепенного значения.

Значительное повышение эффективности использования канала связи достигается с многозвенными полосовыми фильтрами с большим затуханием в полосе непрозрачности. При этом чем более высокие требования предъявляются к затуханию в полосе непрозрачности, тем большее количество звеньев должен иметь полосовой фильтр.

В ряде случаев целесообразно применять четырех- и шестизвенные типовые фильтры тонального телеграфирования, выпускаемые промышленностью в комплекте с системами частотного уплотнения телеграфных каналов.

Для реальных полосовых фильтров увеличение затухания в полосе непрозрачности сопровождается уменьшением к. п. д. и возрастанием затухания в полосе прозрачности фильтра. Поэтому для многих частотных систем телемеханики может быть выбран разумный компромисс между одиночным контуром и сложными фильтрами с многими индуктивностями и емкостями.

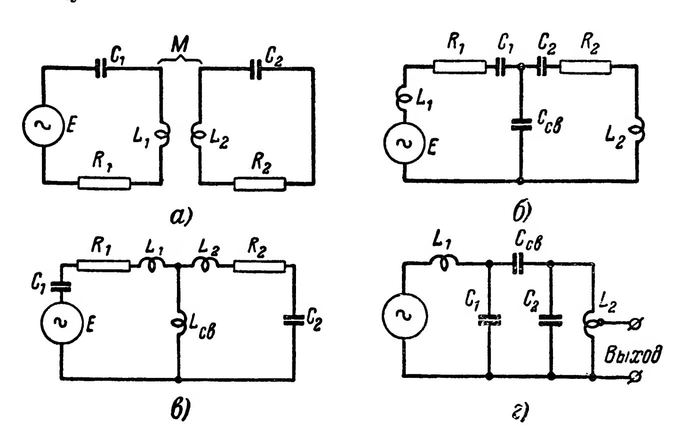


Рис. 28. Схемы двухконтурных фильтров.

Таким решением, целесообразным для систем телемеханики с рассредоточенными объектами, являются двухконтурные фильтры, широко применяемые в радиотехнических схемах. Они позволяют в несколько раз увеличить количество частотных реле в заданном диапазоне частот по сравнению с резонансным контуром. При допустимом затухании на соседних частотах порядка 2 *неп* (затухание примерно в 7 раз) такие фильтры, по существу, не уступают более сложным фильтрам.

Двухконтурные фильтры могут быть установлены взамен резонансных *LC*-контуров без существенных изменений режима схемы, а их наладка и расчет весьма просты.

На рис. 28 приведены схемы двухконтурных фильтров с широко применяемыми видами связи. Коэффициенты

связи $K_а$, $K_б$, $K_в$ и $K_г$ между контурами соответственно для рис. 28,*а*,*б*, *в* и *г* будут:

$$K_а = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}; \qquad (41а)$$

$$K_б = \frac{1}{C_{св}} \sqrt{\frac{C_1 C_2 C_{св}^2}{(C_1 + C_{св})(C_2 + C_{св})}}; \qquad (41б)$$

$$K_в = \frac{L_{св}}{\sqrt{(L_1 + L_{св})(L_2 + L_{св})}}, \qquad (41в)$$

где M — коэффициент взаимоиндукции.

Для $C_1 = C_2 = C$; $L_1 = L_2 = L$; $C_{св} \gg C$; $L \gg L_{св}$

$$K_а = \frac{M}{L}; \quad K_б \approx \frac{C}{C_{св}}; \quad K_в \approx \frac{L_{св}}{L}; \quad K_г = \frac{C_{св}}{C}.$$

Известно, что для коэффициента связи

$$K > \frac{1}{\sqrt{Q_1 Q_2}} \qquad (42)$$

амплитудно-частотная характеристика фильтра имеет двухгорбый характер и с увеличением K полоса пропускания фильтра возрастает $\left(Q_1 = \frac{\omega L_1}{r_1}; Q_2 = \frac{\omega L_2}{r_2}\right.$ — добротность первого и второго контуров$\left.\right)$.

На рис. 29 приведены зависимости мощности во втором контуре P_2 и к. п. д. фильтра η от величины $K^2 Q_1 Q_2$. Максимальная мощность передается во второй контур при

$$K = \frac{1}{\sqrt{Q_1 Q_2}}.$$

Обобщенные амплитудно-частотные характеристики фильтра с одинаковыми контурами ($L_1 = L_2$; $C_1 = C_2$; $Q_1 = Q_2$) приведены на рис. 30. Здесь же дана обобщенная характеристика резонансного контура.

Из рис. 30 следует, что уменьшение коэффициента связи повышает селективность фильтра при больших расстройках, поэтому для частотных реле необходимо выбрать $\beta = QK < 1$.

Сравним избирательные свойства резонансного контура и двухконтурного фильтра.

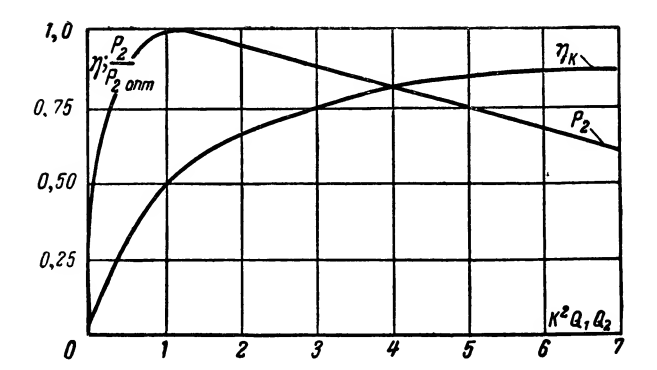


Рис. 29. Зависимость мощности во втором контуре и к. п. д. двухконтурного фильтра от $K^2Q_1Q_2$.

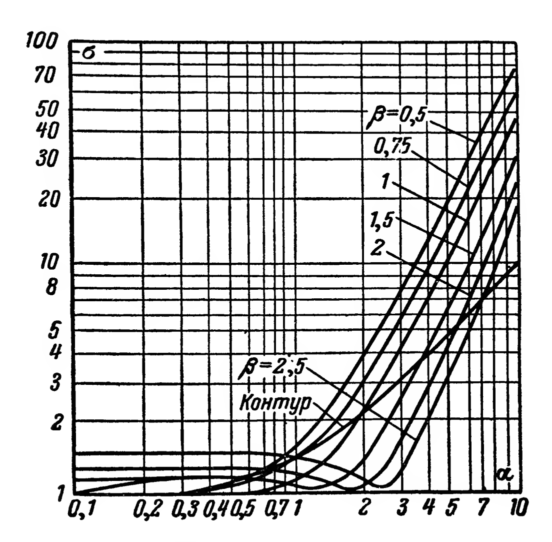


Рис. 30. Обобщенные амплитудно-частотные характеристики LC-контура и двухконтурного фильтра при различных значениях параметра β.

$$\alpha = \left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0}\right) Q;$$

σ — отношение выходного напряжения при резонансе к напряжению при расстройке.

Допустим, что по техническим требованиям необходимо иметь затухание частотного избирателя на соседней частоте, в 10 раз большее, чем на рабочей частоте. Этому соответствует на рис. 30 горизонтальная прямая $\sigma=10$. Из рис. 30 следует, что для $\sigma=10$ резонансный контур требует относительную расстройку $\alpha=10$, в то время как двухконтурный фильтр ($\beta=0{,}5$) обеспечивает $\sigma=10$ при $\alpha=3{,}6$, т. е. для двухконтурного фильтра необходим примерно в 3 раза меньший интервал между соседними частотами.

Необходимо отметить, что с увеличением расстройки затухание двухконтурного фильтра возрастает значительно быстрее. Если затухание резонансного контура при больших расстройках возрастает пропорционально величине расстройки частоты, то для двухконтурного фильтра затухание возрастает примерно пропорционально квадрату расстройки.

При дальнейшем уменьшении β ($\beta<0{,}5$) избирательные свойства двухконтурного фильтра возрастают, а выходная мощность и к. п. д. фильтра уменьшаются более резко.

Схема включения нагрузки во второй контур фильтра и ее расчет могут быть такими же, как и для одиночного резонансного контура. Это же относится ко входной цепи резонансного контура и первого контура фильтра. Схема, приспособленная для замены контура двухконтурным фильтром, приведена на рис. 28,*г*.

Для повышения селективности фильтра и резонансного контура необходимо применять индуктивности с высокой добротностью $Q=\frac{\omega L_к}{r_к}$. В настоящее время этим требованиям удовлетворяют на звуковых частотах индуктивности с альсиферовыми и оксиферовыми сердечниками. Первые целесообразно применять при сравнительно большой выходной мощности фильтра или контура (например, нейтральное реле на выходе фильтра).

Индуктивности с оксиферовыми сердечниками имеют меньшие габариты и более простую намотку, поэтому они должны получить широкое применение. Нейтральное реле на выходе контура или фильтра с оксиферовыми сердечниками включается через усилитель на транзисторе.

13. Избиратели для двухчастотного кода

В системах телемеханики с двухчастотным кодом, так же как и в других системах, повреждение элементов в схеме избирания может приводить к ложному выбору при

передаче колебания только одной из частот, а без дополнительных защит — и к исполнению ложной команды. Это во многих случаях недопустимо даже при использовании таких высоконадежных элементов, как транзисторы. Так, в первых образцах системы КСТ, описанной в гл. 4, пробой промежутка эмиттер — коллектор в одном из транзисторов в схеме избирания приводил к ложному срабатыванию объекта при передаче колебания только одной из двух частот.

В результате исследований, выполненных в ИАТ АН СССР, были предложены и разработаны бесконтактные избиратели, в которых повреждение любого из элементов

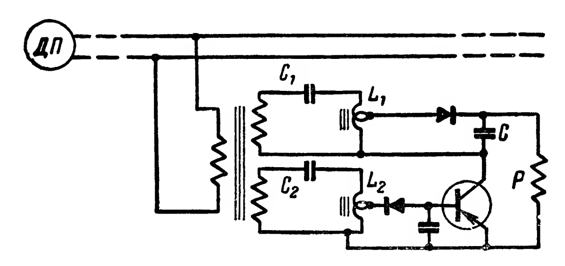


Рис. 31. Схема избирателя для двухчастотного кода, не требующая местных источников питания.

схемы не может вызвать ложного избирания или исполнения ложной команды и в худшем случае вызывает только защитный отказ.

На рис. 31 приведена одна из таких схем, не требующая местных источников питания. С ДП в линию подаются последовательно колебания двух частот f_1 и f_2.

Разделительный понижающий трансформатор уменьшает влияние линии на последовательные резонансные контуры L_1C_1 и L_2C_2.

Первый контур настроен на частоту f_1, а второй — на f_2.

При передаче колебания с часотой f_1 через диод заряжается конденсатор C до напряжения U, при котором энергия $\frac{CU^2}{2}$ достаточна для срабатывания реле P.

Сопротивление транзистора (промежуток эмиттер — коллектор), последовательно включенного с реле, при этом достаточно велико, поэтому реле не срабатывает.

В момент передачи второго колебания напряжение

с частотой f_2, непосредственно или через выпрямитель подаваемое на эмиттер — базу, отпирает транзистор, работающий в релейном режиме. Конденсатор C разряжается через транзистор на реле и вызывает его срабатывание В случае необходимости реле самоблокируется. Легко убедиться, что при передаче колебаний с обратной последовательностью (f_2, а затем f_1), а также при повреждении любого элемента схемы ложного срабатывания реле не происходит.

Количество объектов избирания N (формула кода) будет:

$$N = n(n-1), \tag{43}$$

где n — количество резонансных частот, которые могут быть размещены в рабочем диапазоне частот, без существенного взаимного влияния избирателей; так, для диапазона звуковых частот 300—3 000 *гц* и индуктивностей с альсиферовыми сердечниками $n \approx 15—20$.

Схема может также применяться в системах радиотелемеханики. Формула кода при этом определяет количество избирателей N, которые могут работать с общей несущей частотой (приемники могут быть различными).

Время заряда конденсатора C до 90% от установившегося значения $t_у$ при $z_к \gg R_i$:

$$t_у = \frac{5Cz_к}{n_1^2} \tag{44}$$

выбирается порядка 0,3—1,5 *сек*. В формуле (44) R_i — сопротивление диода; n_1 — коэффициент трансформации автотрансформатора; $z_к = Q\omega L_1$ — сопротивление контура.

Постоянная времени разряда конденсатора C через транзистор, работающий в релейном режиме, будет:

$$\tau_р \approx (r_р + r_п) C, \tag{44а}$$

где $r_р$ — сопротивление реле;

$r_п$ — сопротивление эмиттер—коллектор транзистора.

Энергия, необходимая для срабатывания реле, равна:

$$Э \geqslant \frac{E_р^2}{r_р} t_с, \tag{45}$$

где $E_р$ — напряжение срабатывания реле;
$t_с$ — время срабатывания реле.

Тогда, исходя из условия

$$\left.\begin{aligned} \tau_р \geqslant k_1 t_с, \text{ где } k_1 \approx 1{,}5-2, \\ C \approx \frac{k t_с}{r_п + r_р}. \end{aligned}\right\} \quad (46)$$

Напряжение на конденсаторе $E_с$ без учета потерь в конденсаторе

$$E_с \geqslant k_2 E_р \frac{r_п + r_р}{r_р}, \quad (47)$$

где $k_2 = 1{,}5$ — коэффициент, учитывающий форму разрядного тока.

Заметим, что при отпирании транзистора переменным напряжением с частотой f_2 без предварительного детектирования значительно увеличивается постоянная времени разряда конденсатора C, которая при этом будет зависеть от угла отсечки тока, вследствие чего для срабатывания реле потребуется значительно бóльшая энергия конденсатора.

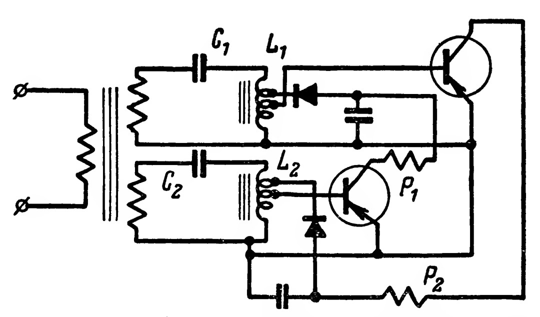


Рис. 32. Схема ИП для одного двухпозиционного объекта ТУ при двухчастотном коде.

Описанная схема была использована в системе ИАТ АН СССР для ТУ рассредоточенными двухпозиционными объектами. Избирание объекта и передача приказа в системе совмещены. Упрощенная схема ИП системы приведена на рис. 32.

Одни и те же электрические контуры на ИП используются как для передачи приказа «включить», так и для приказа «выключить» объект. Первому приказу соответ-

ствует последовательная передача с ДП колебаний с частотами f_1 и f_2, а второму — f_2 и f_1.

Для каждого объекта на ДП установлен отдельный трехпозиционный ключ, переключающий частоту звукового генератора. При одном из положений ключа передается приказ включить, а при другом — выключить объект. Количество двухпозиционных объектов, включенных на общую проводную или радиолинию и управляемых с ДП, может достигать нескольких сотен. Система предназначена как для ТИ по вызову, так и для ТУ объектами. Без существенных переделок она может быть переведена на двухконтурные фильтры, описанные в этой главе.

Необходимо заметить, что для повышения чувствительности рассматриваемого избирателя целесообразно включать усилители на выходе контуров, например на транзисторах.

14. Электромеханические частотные реле

Частотные реле с камертонными, струнными и язычковыми вибраторами и фильтрами начали применяться в системах промышленной телемеханики раньше частотных избирателей с электрическими контурами и фильтрами, однако трудности, возникающие в массовом промышленном производстве электромеханических реле, ограничивают их внедрение в системах ТУ—ТС.

Основные показатели реле, такие, как избирательность и стабильность характеристик, определяются конструкцией и материалом вибраторов. Поэтому при их разработке заслуженно уделялось большое внимание выбору конструктивных решений. В результате значительного объема выполненных работ пришлось отказаться от ранее применяемых струнных реле ввиду их громоздкости, низкого к. п. д. и недостаточной стабильности.

В настоящее время разработан ряд конструкций частотных реле с камертонными и язычковыми вибраторами и фильтрами.

Камертонные реле имеют высокую избирательность по частоте и должны работать со стабильными генераторами частот. Они сравнительно сложны в изготовлении и требуют высокой точности при механической обработке. Поэтому камертонные реле целесообразно применять в тех случаях, когда диапазон частот в канале связи остродефи-

цитен и требуется хотя бы путем уменьшения быстродействия реле (из-за высокой избирательности) и применением более дорогостоящих устройств значительно сократить полосу частот в канале связи. В системах промышленной телемеханики такие требования предъявляются сравнительно редко, если число объектов, включенных в общую линию связи, не превышает нескольких сотен.

Частотное реле с язычковым вибратором имеет более простую конструкцию. В первых образцах таких реле резонансная частота и уровень срабатывания существенно зависели от механического крепления. В последних конструкциях, описанных ниже, этот крупный недостаток удалось в значительной степени устранить путем применения резиновых амортизаторов.

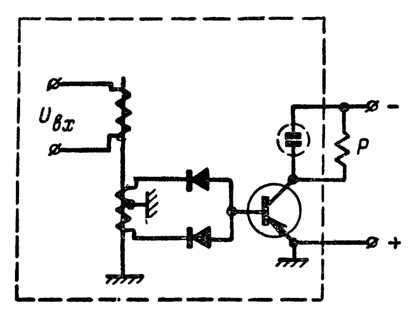


Рис. 33. Схема язычкового частотного реле.

Значительный интерес, вследствие сравнительно низкого к. п. д. язычковых реле, представляет применение усилительной ячейки на выходе частотного избирателя. Такие реле небольшого размера вместе с усилителем могут получить сравнительно широкое применение в частотных системах телемеханики при условии организации их промышленного производства.

Системы телемеханики должны комплектоваться частотными реле примерно так же, как в настоящее время комплектуются системы с электромагнитными реле.

Одну из интересных конструкций бесконтактных язычковых реле и генератора с язычковым вибратором разработал Институт машиноведения и автоматики АН УССР. Схема язычкового реле приведена на рис. 33, а схема генератора — на рис. 34.

Частотное реле с включенным на его выходе исполнительным реле РКМ имеет входное сопротивление больше 3000 *ом* и требует для срабатывания входную мощность 5 *мвт*. Номинальное входное напряжение 5—7 *в*. В рабочем диапазоне частот от 45 до 315 *гц* размещается 9—10 частотных реле. Вибратор выполнен в виде стальной пластинки толщиной 0,35 *мм*, шириной 7 *мм* и длиной 30—40 *мм*. Магнитопровод имеет две платы из мягкой стали

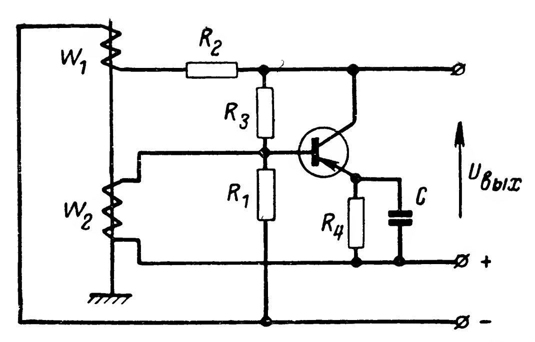


Рис. 34. Схема генератора с язычковым избирателем.

толщиной 1,5 *мм*. Габаритные размеры частотного избирателя 25×35×60 *мм*.

В генераторе используется один и тот же язычковый частотный избиратель, включенный в схему с транзистором. При изменении окружающей температуры частота генератора изменяется на 0,01%/*град*.

15. Магнитные элементы с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ)

Разработка бесконтактных магнитных коммутирующих элементов с ППГ позволила создать новые высоконадежные системы телемеханики с временным разделением сигналов.

Первая бесконтактная циклическая система ТС была разработана в виде макета в ИАТ АН В. Н. Тутевичем в 1954 г. Она предназначалась для ТС из одного пункта в другой по двухпроводной цепи. Синхронизация распределителей, построенных на основе бесконтактных элементов с ППГ, осуществлялась от общей сети переменного тока.

В 1956 г. ИАТ АН совместно с ЦНИЭЛ (В. А. Жожикашвили и К. Г. Митюшкин) разработали опытный образец бесконтактной системы ТС спорадического действия также для сосредоточенных объектов. С 1956 г. эта система установлена в Мосэнерго и используется для передачи сигналов положения высоковольтных выключателей по кабельной линии длиной 18 *км*.

Первые бесконтактные системы были созданы на основе применения коммутирующих элементов с ППГ (рис. 35),

у которых ферромагнитные сердечники изготовлялись из ленточных материалов с индукцией насыщения примерно 12 000 *гс* и коэрцитивной силой 0,07—0,5 *э* (железоникелевые сплавы).

В настоящее время начинают применяться также ферритовые сердечники с ППГ с индукцией насыщения примерно 2 000—2 500 *гс* и коэрцитивной силой 0,2—0,7 *э*.

Первый распределитель на ферритовых элементах для целей телемеханики был разработан в ИАТ АН в 1955 г. Б. В. Рыбаковым и В. В. Пак.

Несмотря на несколько худшие показатели у ферритовых сердечников с ППГ, они представляют интерес в связи

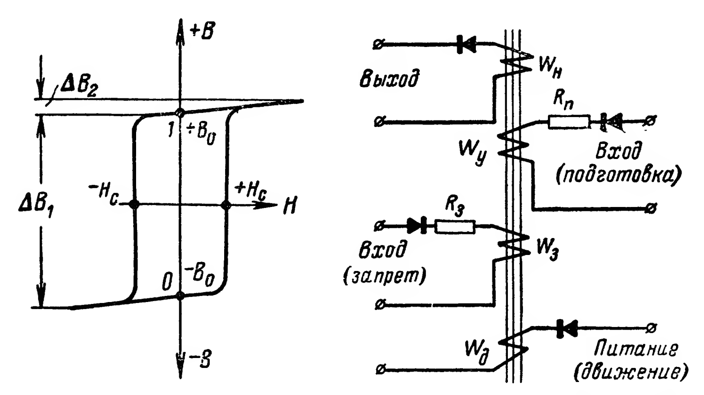


Рис. 35. Петля гистерезиса элемента с ППГ.

Рис. 36. Схема четырехобмоточного элемента с ППГ.

с простотой технологии производства и небольшой стоимостью их изготовления, тем более что промышленное производство сердечников с ленточными материалами пока не налажено.

Значительный интерес представляют феррито-транзисторные ячейки, с помощью которых удается улучшить показатели элементов с ППГ. На основе таких ячеек в ряде организаций создаются системы телемеханики.

В ИАТ АН разработана система телемеханики с элементами с ППГ для рассредоточенных объектов промышленных комбинатов и ирригационных сооружений. Система требует питания от единой сети переменного тока на ДП и ИП. Разрабатываются также схемы с независимым питанием и синхронизацией работы ДП и ИП.

Рассмотрим принцип действия элемента с ППГ. На рис. 36 дано схематическое изображение четырехобмоточ-

ного элемента с магнитным сердечником с ППГ. Такой элемент по-разному реагирует на видеоимпульсы разной полярности. Если через его обмотки не протекает ток, сердечник может быть только в одном из двух состояний, с положительной или отрицательной остаточной индукцией. Этим состояниям соответствуют точки *0* или *1* на рис. 35.

Импульс тока в одной из обмоток с полярностью, при которой созданная им м. д. с. противоположна по знаку остаточной индукции, вызывает перемагничивание сердечника. Происходит резкое изменение потока на величину

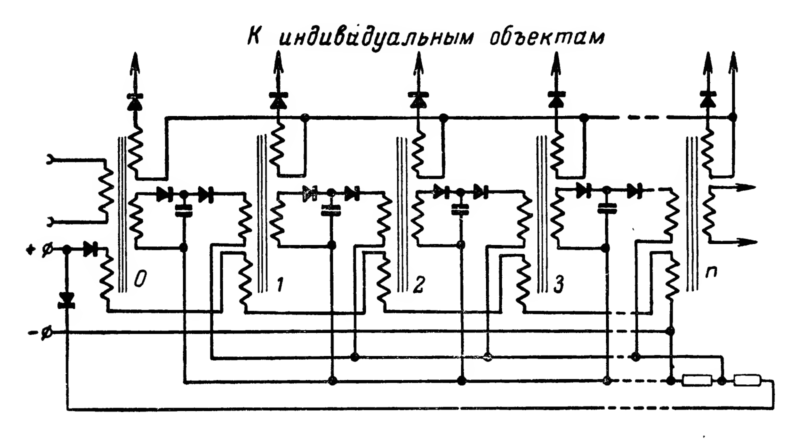


Рис. 37. Схема распределителя бесконтактной системы ИАТ АН СССР—ЦНИЭЛ.

ΔB_1 и во всех обмотках наводятся э. д. с. В замкнутых вторичных обмотках во время перемагничивания протекает ток, величина которого определяется в основном параметрами сердечника, числом витков и электрическим сопротивлением цепи.

Если же м. д. с., создаваемая импульсом тока, совпадает по знаку с остаточной индукцией сердечника, имеет место только незначительное изменение потока (ΔB_2 на рис. 35).

Такой бесконтактный элемент с ППГ в известной мере эквивалентен электромагнитному поляризованному реле, выходные контакты которого включены последовательно с источником питания через реальную дифференцирующую цепь.

В распределителях и других схемах элементы с ППГ имеют следующие обмотки (рис. 36):

$w_д$ — обмотка питания или движения, через которую протекает ток (импульсы) питания;

$w_у$ — обмотка управления (вход), она предназначена для подготовки элемента к срабатыванию путем создания м. д. с., противоположной по знаку м. д. с. обмотки питания;

$w_н$ — выходная обмотка, включаемая в цепь нагрузки элемента;

$w_з$ — обмотка, предназначенная в некоторых схемах для „запрета" путем создания м. д. с., противоположной по знаку м. д. с. обмотки управления.

В виде примера на рис. 37 приведена схема распределителя упомянутой выше бесконтактной системы ИАТ АН — ЦНИЭЛ.

16. Экспоненциальные преобразователи

Одной из главных особенностей передачи информации в ТИ является прямая зависимость погрешности измерения от стабильности коэффициента передачи всей системы и ее отдельных преобразователей. Изменение коэффициента передачи на $\delta\%$ вызывает такую же погрешность. Поэтому в ТИ возникает проблема создания высокостабильных преобразователей (модуляторов, демодуляторов и т. п.).

В результате работы над этой проблемой в ИАТ АН СССР были предложены и разработаны новые бесконтактные высокостабильные время-импульсные и широтно-импульсные преобразователи, названные экспоненциальными.

На их основе созданы и начинают применяться системы ТИ типа ВСТ. Экспоненциальные преобразователи могут быть также использованы в бесконтактных системах ТУ со многими возможными избирающими признаками каждого элемента. Вследствие этого они при построении систем телемеханики для рассредоточенных объектов обладают такими же положительными свойствами, как и частотные устройства.

Простейший экспоненциальный широтно-импульсный преобразователь состоит из моста (рис. 38), в одном плече которого включены сопротивления R_1 и R_2, а в другом — сопротивление и емкость или сопротивление и индуктивность. В диагональ моста включен диод. На схеме рис. 38 сопротивление нагрузки $R_н \ll R$. При подаче на мост на-

пряжения прямоугольной формы (рис. 39,*а*) напряжение на конденсаторе C изменяется в соответствии с рис. 39,*б*.

В момент времени $t_с$ напряжение на конденсаторе достигает напряжения на сопротивлении R_2, и диод начинает пропускать ток. При этом с момента $t_с$ до конца импульса напряжение на конденсаторе остается постоянным, так как прямое сопротивление диода $R_{д.п} \ll R$, а $R \gg R_2$.

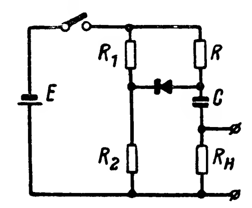


Рис. 38. Схема экспоненциального преобразователя.

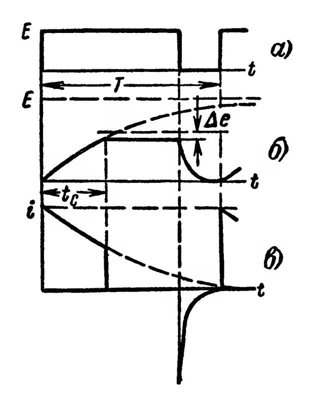


Рис. 39. Временные диаграммы напряжения и токов в экспоненциальном преобразователе.

Изменение тока конденсатора или напряжения на сопротивлении нагрузки $R_н$ приведено на рис. 39,*в*.

Ширина импульса $t_с$ на выходе нагрузки в такой схеме с диодом при идеальной кусочно-линейной характеристике не зависит от изменения напряжения питания:

$$t_с = RC \ln \frac{R_1 + R_2}{R_1}. \tag{48}$$

Выбирая в качестве датчика сопротивление R или емкость C, получим линейный экспоненциальный преобразователь, в котором зависимость между шириной импульсов $t_с$ и сопротивлением датчика R или емкостью C будет линейной.

В ряде случаев целесообразно в качестве датчика использовать меньшее сопротивление R_a (рис. 40,*а*) или управлять преобразователем путем подачи напряжения на вход диода (рис. 40,*б*). При этом будет иметь место логарифмическая зависимость между длительностью импульсов и сопротивлением или входным напряжением преобразователя. Однако, применяя подобную схему,

осуществляющую обратное функциональное преобразование в приемнике (RC-цепочку с одинаковой постоянной времени), можно получить линейную зависимость между величиной первичного параметра и параметра на выходе

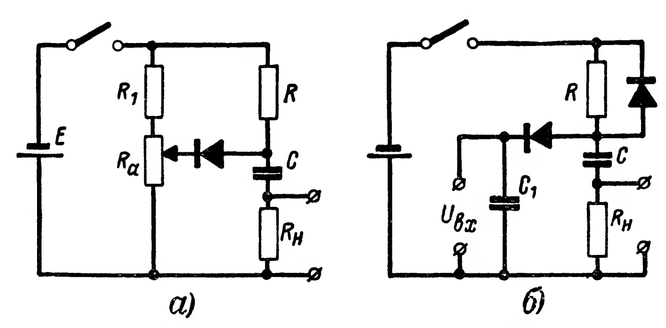


Рис. 40. Схемы экспоненциальных преобразователей.

приемника. Такой экспоненциальный преобразователь называют функциональным. Он применен в системе ВСТ-1 (гл. 4).

С учетом внутреннего сопротивления генератора импульсов R_i длительность импульса $t_с$ будет:

$$t_с = (R + KR_i)\, C \ln\left[1 + \frac{\Delta R_a}{R_a} \frac{R}{\left(1 + \frac{R_1}{R_a} - \frac{\Delta R_a}{R_a}\right)(R + KR_i)}\right], \quad (49)$$

где

$$K = \frac{R_1 + R_a}{R_i + R_1 + R_a}. \quad (50)$$

При $R \gg R_i$; $R \gg R_1 + R_a$

$$t_с = (R + KR_i) C \ln\left[\frac{1}{1 - \frac{\Delta R_a}{R_1 + R_a}}\right]. \quad (51)$$

При изменении внутреннего сопротивления на ΔR_i относительная погрешность

$$\delta = \frac{K \Delta R_i}{R + KR_i}. \quad (52)$$

Характеристики реальных диодов отличаются от идеализированных кусочно-линейных кривых, поэтому диоды

начинают пропускать ток раньше момента времени t_c. Это приводит к расширению заднего фронта импульса и к некоторой зависимости ширины импульса от порога срабатывания диода и формирующей цепи.

Для реальных диодов и деталей преобразователь может быть построен с периодом повторения T от нескольких десятков миллисекунд до десятков секунд с погрешностью преобразователя 0,1% и задним фронтом порядка 1%.

Лучшими свойствами в настоящее время обладают кремниевые диоды.

Осуществление время-импульсной модуляции достигается введением дифференцирующей ячейки на выходе преобразователя и каскадов формирования импульсов в передатчике.

Кроме известных способов осуществления многоканальных систем с временным и частотным разделением, значительный интерес представляет новый способ построения многоканальной системы ТИ с время-импульсной модуляцией и временным разделением каналов, без отдельного коммутатора. Упрощенная схема передатчика такой трехканальной системы приведена на рис. 41. Здесь R_{a1}, R_{a2}, R_{a3} — потенциометры датчиков первого, второго и третьего каналов, а сопротивления $R_{д1}$, $R_{д2}$ и $R_{д3}$ служат для создания защитных временных интервалов между каналами. Дифференцирующая ячейка $R_в C_в$ включена на выходе схемы.

Заметим, что если на вход канальных преобразователей подаются напряжения, тогда схема составляется в соответствии с рис. 40,*б*.

Рис. 42 иллюстрирует максимальную временную девиацию в каналах и защитные интервалы между каналами.

В простейшей схеме ТУ, использующей распределительный код на N команд, каждой команде присваивается различная длительность импульсов в экспоненциальном преобразователе. Объектный ключ K в передатчике (рис. 43 слева) переключает сопротивления и задает определенную длительность импульсов (возможно изменение сопротивления R или емкости C). Выходное напряжение преобразователя подается с сопротивления нагрузки $R_н \ll R$ на линейное реле-повторитель *ЛР*, которое может быть выполнено в виде электронного реле на транзисторах, и т. п.

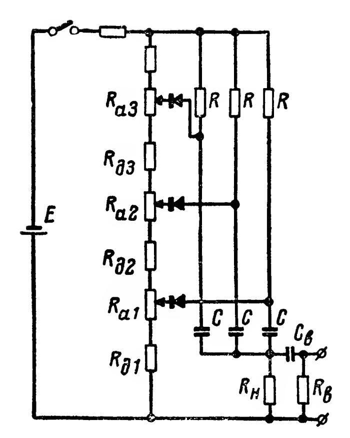


Рис. 41. Схема передатчика трехканального устройства ТИ с экспоненциальными преобразователями.

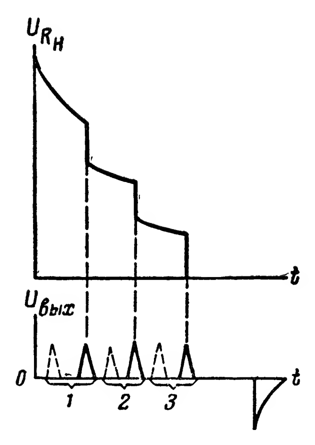


Рис. 42. Временные диаграммы напряжений в трехканальной системе ТИ.

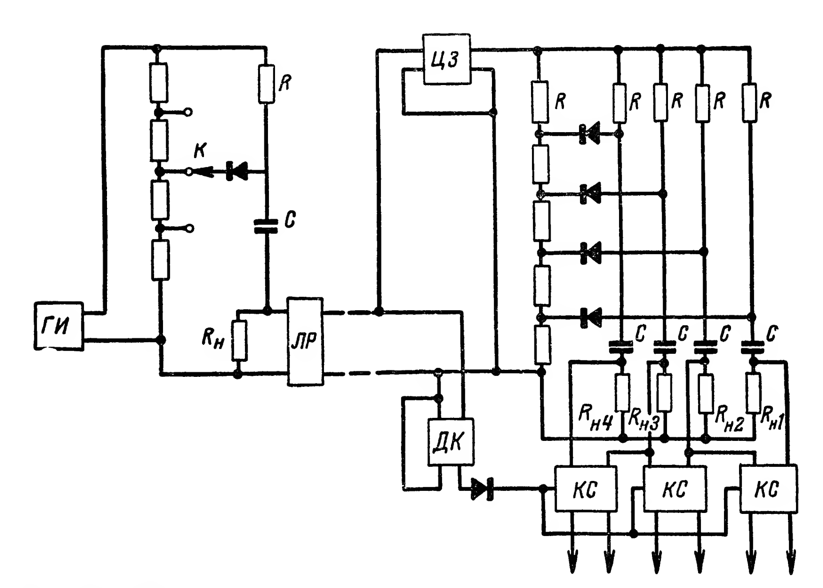


Рис. 43. Схема устройства с экспоненциальными преобразователями для передачи трех команд.

Схема приемника на три команды приведена на рис. 43 справа. Приемник состоит из распределителя в виде сложного экспоненциального преобразователя с четырьмя одинаковыми ячейками *RC*, дифференцирующего каскада *ДК* и каскадов совпадения *КС*, индивидуальных для каждой команды. Цепь задержки импульсов *ЦЗ* создает запаздывание импульсов на время, соизмеримое или меньшее длительности заднего фронта. Она выполняется, например, в виде цепочечной линии задержки (одна-две ячейки).

Временные диаграммы напряжений на сопротивлениях нагрузки $R_{н1}$, $R_{н2}$, $R_{н3}$, $R_{н4}$ приведены на рис. 44,*б*, *в*, *г* и *д*, а выходные импульсы распределителя, подаваемые на входы каскадов совпадения, — на рис. 44,*е*, *ж* и *з*.

На все вторые входы каскадов совпадения с выхода дифференцирующего каскада подается импульс, соответствующий заднему фронту импульса, передаваемого с передатчика. Если длительность импульса, передаваемого с передатчика, больше, чем длительность импульсов на сопротивлении нагрузки $R_{н1}$, и меньше, чем на сопротивлении $R_{н2}$, то импульс с дифференцирующего каскада совпадает с импульсом первого канала распределителя, что соответствует передаче первой команды и т. п. Каскады совпадения выполняются по схеме с диодом и сопротивлениями, с транзисторами и т. п. В случае необходимости на выходе каждого каскада совпадения включается выходное реле с самоблокировкой. Первичные импульсы могут вырабатываться не только генератором импульсов *ГИ* в передатчике (рис. 43), но также и генератором импульсов в приемном устройстве, подобно тому, как это выполнено в системе ВСТ-1. В ряде случаев, например при использовании частотных каналов, необходимо иметь генераторы первичных импульсов в передатчике и приемнике, синхронизируемые известными способами.

Максимальное число передаваемых команд при распределительном коде:

$$N = K\frac{t_{с.макс}}{\Delta t_{ср}} - 1; \tag{53}$$

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_{мин} + \Delta t_{макс}}{2}, \tag{54}$$

где K — коэффициент запаса ($K = 0{,}7 - 0{,}8$).

Число команд при включении специальных формирующих цепей может быть увеличено по сравнению с рассчитанным по приведенной формуле.

На рис. 45 изображена схема передатчика системы ТУ с десятичным кодом, рассчитанная на передачу 100 команд. Передатчик имеет две ячейки *RC*, два диода и соответственно два переключателя $П_1$ и $П_2$, предназначен-

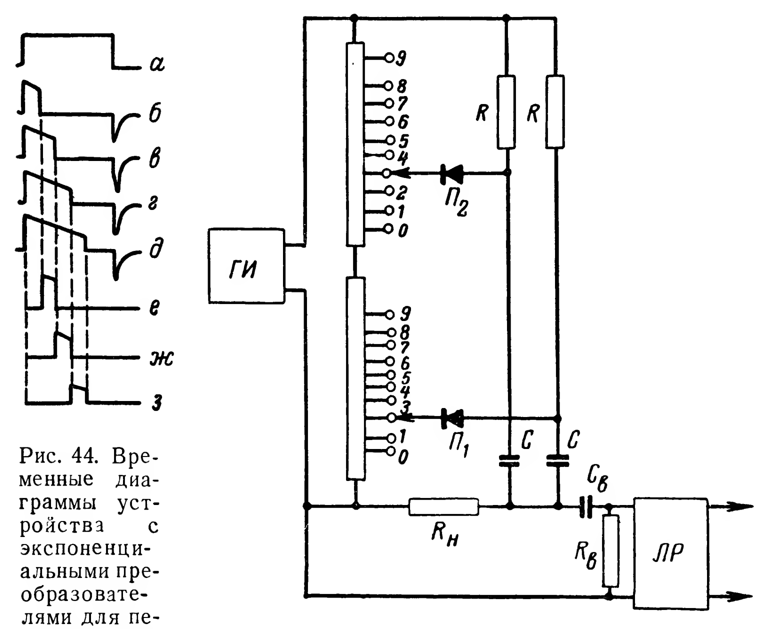


Рис. 44. Временные диаграммы устройства с экспоненциальными преобразователями для передачи трех команд.

Рис. 45. Схема передатчика устройства ТУ с десятичным кодом для передачи 100 команд.

ных для установки десятков и единиц. Для передачи, например, команды № 67 переключатель $П_1$ устанавливается в положение *6*, а $П_2$ — в положение *7*.

На выходе экспоненциального преобразователя включена дифференцирующая ячейка $C_в\,R_в$ для посылки в линию импульсов в моменты отпирания первого или второго диодов. Принцип разделения сигналов здесь такой же, как и у многоканальной системы ТИ с экспоненциальными преобразователями.

Приемное устройство системы ТУ должно иметь распределитель с индивидуальными выходами и каскадами

совпадения для каждого десятка и единицы, построенный так же, как приемник на рис. 43.

Схемы передатчиков, изображенные на рис. 43 и 45, могут передавать за один цикл только одну команду. Для передачи за цикл двух и более команд в передатчике включается соответственно большее число *RC*-ячеек.

Схемы с экспоненциальными преобразователями не содержат нестабильных элементов, существенно влияющих на работу системы. Это позволяет создать с экспоненциальными преобразователями простые и высокостабильные системы телемеханики.

17. Высокостабильные импульсные генераторы

Несмотря на большие успехи в развитии импульсной техники, ряд импульсных устройств еще имеет существенные недостатки. Так, изменение напряжения питания импульсного генератора на 1% (мультивибраторы, блокинг-генераторы, фантастроны и др.) без специальных средств стабилизации вызывает примерно такое же изменение частоты, в то время как с генераторами синусоидальных колебаний может быть легко получена стабильность частоты, на несколько порядков большая. Повышение стабильности достигается часто сложными схемами, предназначенными для синхронизации и стабилизации работы импульсных генераторов.

Все это создает трудности применения импульсных генераторов в различных устройствах и в первую очередь в ТИ и ТУ, предъявляющих высокие требования к стабильности генераторов. Больше того, создание простых и высоконадежных устройств ТИ—ТУ, особенно для массовых рассредоточенных объектов, затрудняется из-за отсутствия высокостабильных управляемых импульсных генераторов.

Использование импульсных генераторов с синхронизацией от управляемых стабильных генераторов синусоидальных колебаний приводит к сложным и недостаточно надежным решениям, особенно при большом диапазоне рабочих частот.

Таким образом, возникает проблема генерирования управляемых импульсных колебаний стабильной частоты, решение которой создает условия для усовершенствования различных устройств, работающих в импульсном режиме.

Новые импульсные генераторы с электрическим мостом и включенным в диагональ моста нелинейным элементом, предложенные в ИАТ АН СССР, позволяют в значительной степени устранить кажущееся принципиальным различие в возможности создания стабильных генераторов синусоидальных и импульсных колебаний. Такие генераторы являются дальнейшим развитием идеи экспоненциальных преобразователей, предложенной автором.

Стабильные импульсные генераторы могут быть построены по схемам, аналогичным схемам блокинг-генераторов, мультивибраторов, в виде генераторов с транзисторами, радиолампами, электромагнитными реле и т. п.

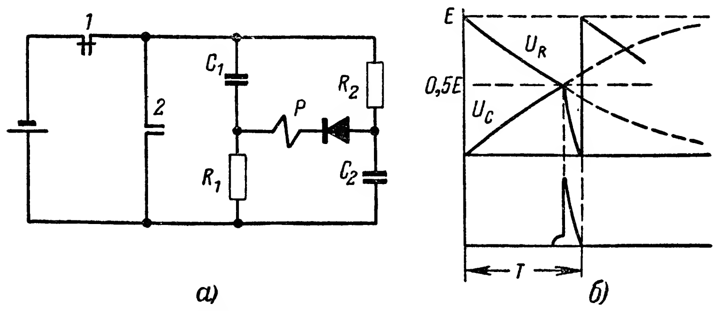


Рис. 46. Схема стабильного импульсного генератора с электромагнитным реле (*а*) и временная диаграмма (*б*).

Основным элементом нового генератора является мост, нечувствительный к изменению напряжения питания, состоящий из двух *RC*- или *RL*-цепочек с диодом, включенным в диагональ моста. Это позволяет выбрать параметры генератора так, что пауза между импульсами ничтожно мало зависит от напряжения питания и изменения параметров нелинейных элементов. Следовательно, при достаточно большой скважности импульсов частота генератора будет достаточно стабильной.

На рис. 46,*а* приведена схема генератора с электромагнитным реле *P* и двумя его контактами (*1* и *2*). Частоту генератора в основном определяет мост, состоящий из двух *RC*-цепочек, включенных в противоположной последовательности. В диагональ моста включены диод и обмотка реле *P*. В простейшем случае цепочки выбираются одинаковыми ($R_1=R_2=R$; $C_1=C_2=C$).

Временные диаграммы напряжений на сопротивлении R_1 и на конденсаторе C_2 для $R_1=R_2$ и $C_1=C_2$ приведе-

ны на рис. 46,*б*, начиная с момента замыкания контакта *1*. В момент времени, когда напряжение на конденсаторе U_C достигает напряжения на сопротивлении U_R, диод начинает пропускать ток и срабатывает реле. При этом конденсаторы C_1 и C_2 разряжаются через последовательную цепь, состоящую из контакта *2*, диода и обмотки реле. Временная диаграмма тока через диод приведена на рис. 46,*б*.

Для повышения стабильности частоты прямое сопротивление диода $R_д$ и сопротивление обмотки реле $R_р$ выбираются из условия $R \gg R_д + R_р$, а чувствительность реле выбирается максимальной. В этом случае максимальный разрядный ток конденсаторов через диод примерно в $\frac{R}{R_д + R_р}$ раз больше максимального тока через сопротивление R, а постоянная времени заряда конденсаторов примерно в $\frac{2R}{R_д + R_р}$ раз больше постоянной времени разряда.

Реле отпускает при уменьшении разрядного тока до величины тока отпускания реле и в дальнейшем процесс повторяется.

Период колебания генератора T может быть представлен в виде:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \tag{55}$$

где для кусочно-линейной характеристики диода с точкой перегиба характеристики при $U_д = 0$ без учета внутреннего сопротивления источника питания, индуктивности реле и для $R_1 = R_2 = R$; $C_1 = C_2 = C$ время t_1 с момента отпускания реле до появления тока через диод ($U_R = U_C$) будет:

$$t_1 = RC \ln 2. \tag{56}$$

Время нарастания тока диода до величины тока срабатывания реле $i_{ср}$

$$t_2 = -\frac{RR_a}{2R + R_a} C \ln\left(1 - \frac{2R + R_a}{E} i_{ср}\right), \tag{57}$$

где $R_a = R_д + R_р$ — сопротивление в цепи разряда конденсаторов.

Время уменьшения разрядного тока до величины тока отпускания реле

$$t_3 = \frac{RR_a}{2R + R_a} C \ln \frac{E}{R_a i_{\text{отп}}}; \tag{58}$$

t_4 — сумма времени срабатывания и отпускания реле.

Период колебания генератора может быть записан в виде:

$$T = RC \left[\ln 2 + \frac{R_a}{2R + R_a} \ln \frac{E}{R_a i_{\text{отп}} \left(1 - \frac{2R + R_a}{E} i_{\text{ср}}\right)} \right] + t_4. \tag{59}$$

Для $R_a \ll R$ легко выбрать параметры генератора, при которых второй член выражения в скобках значительно меньше первого, а период колебаний T мало зависит от напряжения питания E ($T \approx RC \ln 2$). Кроме того, интервал между импульсами при высокой чувствительности срабатывания реле мало зависит от напряжения питания.

Изменение периода колебаний генератора в зависимости от напряжения питания может быть определено путем дифференцирования выражения для T по E:

$$\frac{dT}{dE} = \frac{CRR_a}{(2R + R_a)[E - (2R + R_a) i_{\text{ср}}]}, \tag{60}$$

при $2R \gg R_a$

$$\frac{dT}{dE} \approx T \frac{R_a}{R(E - 2Ri_{\text{ср}}) 2 \ln 2}. \tag{61}$$

Для небольших изменений напряжения питания, принимая

$$\frac{dT}{dE} = \frac{\Delta T}{\Delta E}, \tag{62}$$

при $2R \gg R_a$ получим:

$$\frac{\Delta T}{T} \approx \Delta E \frac{R_a}{R(E - 2Ri_{\text{ср}}) 2 \ln 2}. \tag{63}$$

Из приведенных формул следует, что функция $\frac{dT}{dE}$ не имеет минимума. Уменьшение зависимости частоты колебаний от напряжения питания $\left(\frac{dT}{dE} \cdot \frac{1}{T}\right)$ достигается путем увеличения

напряжения E, отношения $\frac{R}{R_a}$ и уменьшением разности $E - 2Ri_{ср}$. Так, например, для $E = 300$ *в*, $R_a = 3000$ *ом*, $R = 60000$ *ом* и $i_{ср} = 0{,}2$ *ма*

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta E}{7600},$$

т. е. изменение напряжения питания на 1 *в* вызывает изменение частоты генератора на $\frac{1}{76}$ %.

Импульсный генератор может работать без нормально замкнутого контакта *1*, который в этом случае заменяется сопротивлением. При включении же только одного нормально замкнутого контакта *1* генерируются импульсы пилообразной формы.

Пример схемы стабильного импульсного генератора на бесконтактных элементах (радиолампах, транзисторах и т. п.) дан на рис. 47. Здесь бесконтактное реле *ЭР* управляется током через конденсатор или диод и срабатывает при открывании диода ($U_R = U_C$). Сопротивление выходной цепи реле, шунтирующей мост, при этом резко уменьшается, и разрядный ток конденсаторов протекает через выходную цепь реле. Реальные схемы таких генераторов на транзисторах приведены на рис. 48.

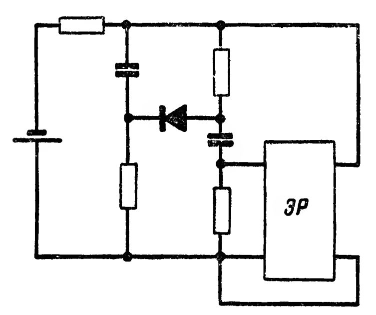


Рис. 47. Схема стабильного импульсного генератора с электронным реле.

Стабильный импульсный генератор может работать так же, как и блокинг-генератор. Для этого, например, в схеме, приведенной на рис. 48, *а*, одна обмотка блокинг-трансформатора включается взамен сопротивления в цепи питания, а вторая — между базой и эмиттером выходного транзистора. Блокинг-трансформатор может улучшать процесс разряда конденсаторов до минимальной величины, тем самым повышая стабильность генератора. Для повышения стабильности частоты генератора в ряде случаев целесообразно также включать дополнительно транзистор последовательно с источником питания, выполняющий функции контакта *1* в схеме рис. 46,*а*.

Физические процессы, протекающие в этих схемах, в известной степени аналогичны вышеописанным процессам, протекающим в генераторах с электромагнитными реле. Приближенный расчет генераторов может быть также выполнен на основе приведенного анализа работы генератора.

Для генератора, работающего по схеме рис. 48,*б*, изменение напряжения питания на 100% вызывает изменение частоты в пределах ±0,15%.

Как следует из приведенного выше анализа, более высокая стабильность частоты может быть получена для ге-

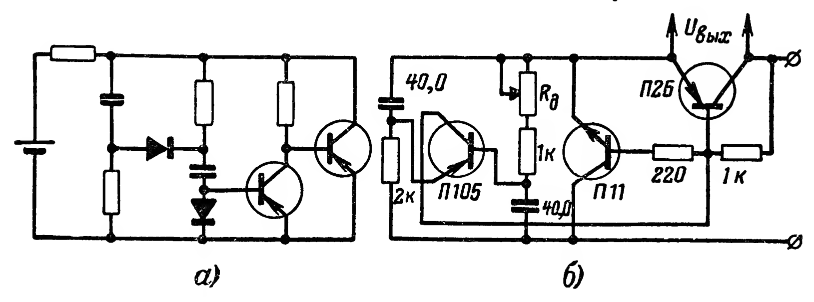


Рис. 48. Схемы стабильного импульсного генератора на транзисторах.

нераторов на радиолампах или с электромагнитными реле. Например, для генератора, работающего по схеме рис. 46, изменение напряжения питания на 1% вызывает изменение частоты меньше, чем на 0,017%. Генераторы работают устойчиво в широких пределах изменения параметров схемы и напряжения питания. Так, генераторы на транзисторах работают в пределах изменения напряжения от 1—3 *в* до 40—50 *в*.

Легко показать, что при соответствующем выборе параметров и режима новых импульсных генераторов в первом приближении можно пренебречь временем установления частоты и напряжения импульсов.

Схема, приведенная на рис. 48,*б*, была разработана и испытывалась в ИАТ АН СССР как передающее устройство частотно-импульсной системы ТИ.

Частота передающего устройства изменяется от 45 до 22 *гц* при изменении сопротивления типового реостатного датчика от 0 до 1 200 *ом*. Нелинейность градуировочной характеристики $T = \varphi\ (R_д)$ ($R_д$ — сопротивление датчика) не превышает 1%. Может быть применен и датчик напря-

жения. При включении генератора частота устанавливается меньше чем за 0,5 *сек* (выбег).

Входное сопротивление передающего устройства примерно равно 3 000 *ом*, а потребляемая мощность — 120 *мвт*. Это позволяет устанавливать передающее устройство на необслуживаемых объектах и питать его по проводной линии длиной до 200—300 *км*.

Изменение температуры всех трех транзисторов от —60° до +20° вызывает изменение частоты на ±0,4%. При изменении температуры всего устройства от —10 до +40° частота изменяется в пределах ±0,75%. Необходимо заметить, что в этом случае стабильность частоты определяется главным образом температурным коэффициентом конденсаторов.

Испытания передающего устройства показали, что оно имеет основную и дополнительные погрешности меньше 1%.

Новые генераторы могут быть использованы для обратной сигнализации в системах телемеханики с рассредоточенными объектами. При этом каждому ИП или объекту присваивается отдельная частота, а определение номера объекта ИП производится путем измерения частоты или периода колебаний, например с помощью пересчетной схемы и цифрового индикатора.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ С БЕСКОНТАКТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

18. Системы с избиранием ИП одной частотой

В 1956 г. в ИАТ АН СССР была предложена и разработана частотная система телемеханики для рассредоточенных объектов с описанными в гл. 3 избирателями в виде последовательных электрических *LC*-контуров. Система была представлена на Всесоюзной промышленной выставке и в дальнейшем положена в основу ряда разработок, выполненных различными организациями в содружестве с ИАТ АН СССР.

На рис. 49 приведена упрощенная схема этой системы. При нажатии на ДП объектного ключа $K_1, \ldots, K_{12}$ в проводную линию связи подается напряжение одной из 12 звуковых частот, присвоенной данному *ИП*, от генератора *ЗГ*.

На каждом ИП установлено частотное реле с последовательным контуром. Нагрузкой контура является нейтральное реле P_1, включенное через выпрямительный мост. Частотное реле срабатывает, если с ДП передается колебание с резонансной частотой контура. Амплитудно-частотные характеристики частотных избирателей приведены на рис. 50.

Настройка частотных реле для выбора частоты и уровня срабатывания реле осуществляется изменением емкости и переключением отводов в автотрансформаторе.

Контроль состояния объектов выполняется методом опроса. Для этого в одном из крайних положений объекта его блок-контакт включает, а в другом выключает дополнительную емкость в цепи резонансного контура. При включении дополнительной емкости резонансный контур перестраивается на общую для всех объектов частоту, отличную от частоты избирания.

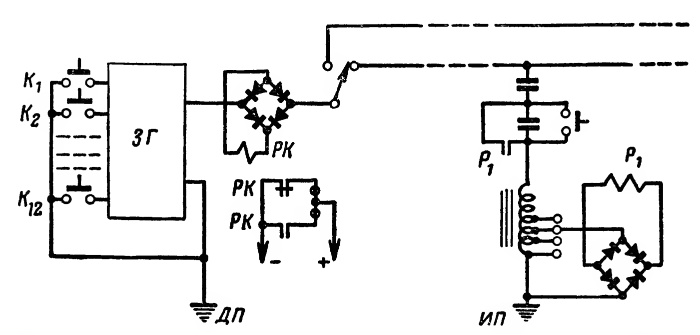


Рис. 49. Упрощенная схема системы ТУ ИАТ АН СССР с последовательными LC-контурами на ИП.

Последовательно с генератором на ДП через выпрямительный мост включено контрольное реле PK, которое срабатывает, если блок-контакт объекта не переключил контур данного объекта на общую частоту. В случае переключения сопротивление цепи возрастает, и контрольное реле не срабатывает. Через контакт контрольного реле включены две лампочки, сигнализирующие о положении объекта.

При срабатывании блок-контакта для управления объектом с ДП передается колебание двух частот: общей для всех ИП и частоты избирания данного объекта.

Технические данные системы:

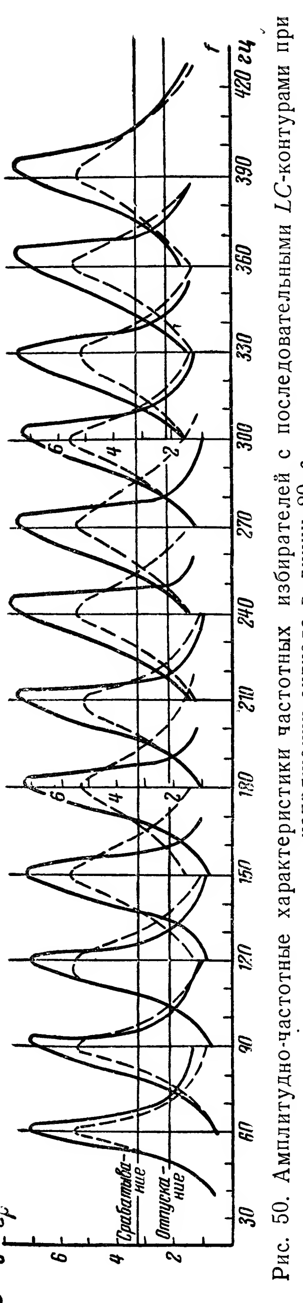


Рис. 50. Амплитудно-частотные характеристики частотных избирателей с последовательными LC-контурами при напряжении сигнала в линии 20 *в.*

1. Емкость одного куста (число ИП, включаемых в двухпроводную цепь) — 24.

Емкость всей системы не ограничена.

2. Дальность действия по 4 *мм* стальной цепи 12 *км*..

3. Диапазон частот 25 — 400 *гц*.

4. Число частот избирания 12.

5. Время избирания 0,2 *сек*.

6. Напряжение звуковой частоты в линии 20 *в*.

Система не требует на ИП местных источников питания.

В 1957 г. ИАТ АН совместно с ВНИИнефть разработали частотную систему ЧТ-1 для телемеханизации нефтепромыслов, работающую с проводными линиями связи.

Система эксплуатируется на одном из бакинских нефтепромыслов с июня 1957 г. Для избирания ИП применены описанные выше частотные реле с последовательными LC-контурами, обеспечивающие указанную выше дальность действия.

После избирания ИП может производиться включение или выключение двигателя или электрического освещения путем посылки с ДП напряжения постоянного тока различной полярности с разделением их на ИП диодами.

Система ЧТ-1 обеспечивает по двухпроводной цепи с использованием земли:

1) выбор исполнительного пункта;

2) ТУ электродвигателем скважины (включение, отключение);

3) ТУ освещением (включение, отключение);

4) телединамометрирование (ТИ по вызову);

5) сигнализацию о состоянии скважины по вызову (работает, остановлена);

6) аварийную сигнализацию (общий сигнал);

7) телефонную связь с двухсторонним вызовом.

Для определения ИП, с которого передан общий аварийный сигнал, на ДП необходимо последовательно опросить группу из 12 ИП. Опрос может быть автоматическим. При выборе аварийного ИП его блок-контакт разблокируется. Система рассчитана на четыре группы (куста) по 24 ИП в каждой, соединенных с ДП отдельными линиями связи.

В Башкирии с октября 1957 г. эксплуатируется аналогичная частотная система ЧТ-2К, с такими же частотными реле, разработанная НПУ Октябрьскнефть в содружестве с ИАТ АН СССР. В отличие от ЧТ-1 в системе ЧТ-2К с каждой скважины передаются предупредительный и аварийный сигналы. Серийное производство аппаратуры ЧТ-2К освоено в 1958 г.

Всесоюзное совещание по автоматизации и телемеханизации нефтедобычи в апреле 1958 г. приняло решение: «В качестве основных, наиболее перспективных проводных систем телемеханики. считать системы с частотным методом избирания (в настоящее время ЧТ-2)» *.

В 1958 г. коллектив сотрудников Грознефти в содружестве с ИАТ АН СССР разработал систему ГЧФ для телемеханизации нефтепромыслов с описанными выше частотными избирателями в виде последовательных *LC*-контуров и с фазовым принципом телесигнализации. Сигнал с каждой скважины содержит информацию об адресе скважины. При приеме такого сигнала на пульте диспетчера автоматически загорается определенная сигнальная лампочка, номер которой зависит от фазы переменного тока (50 *гц*) и полярности постоянного тока, передаваемых с ИП.

Система ГЧФ позволяет резко сократить наиболее трудоемкие и дорогостоящие работы по сооружению проводных линий путем использования существующей кабельной телефонной сети. Из-за ограниченного уровня

* Автоматизация и телемеханизация в добыче нефти, ГОСИНТИ, 1959.

сигналов в телефонном кабеле в конце каждой пары кабеля устанавливается групповой исполнительный пункт (ГИП) на 36 ИП. ГИП имеет усилитель сигналов на транзисторах и устройство для коммутации. К ГИП подключаются три двухпроводные цепи по 12 ИП в каждой.

Таблица 3

Данные системы	ГМ-4	ГЧФ
1. Число реле, отнесенное на один ИП (с учетом всей системы)	4,6	2,3
2. Количество всех контактов в системе (контакты реле, ключей, кнопок, блок-контактов) в пересчете на один ИП	21,2	6,5
3. Количество контактов на ИП	16	4
4. Число операций на ИП	2	2
5. Число операций ТС, включая телефонную связь	3	3
6. Количество операций ТИ	8	8
7. Общее количество операций ТУ, ТС и ТИ на одном ИП	13	13
8. Количество контактов на одну операцию ТИ, ТС, ТУ	1,6	0,5
9. Средняя протяженность дополнительно сооружаемых двухпроводных линий связи в пересчете на один ИП (для условий нефтяных районов Грозного), *м*	50	50

В табл. 3 приведены для сравнения данные системы ГЧФ и аналогичной по требованиям системы ГМ-4 с фазовым избиранием объектов, ранее разработанной коллективом сотрудников Грознефти. Из табл. 3 видно повышение надежности и упрощение аппаратуры, которое может быть получено при переходе к частотной системе.

Система ГЧФ уже получила широкое внедрение.

Частотные системы телемеханики с последовательными LC-контурами, описанными в гл. 3, также разрабатываются для рассредоточенных объектов на шахтах, в оросительных системах и для других отраслей народного хозяйства. В 1958 г. Гипрошахт в содружестве с ИАТ АН СССР разработал систему с последовательными LC-контурами для ТУ и ТС, применительно к условиям объектов на шахтах. Освоение производства системы начато в 1959 г.

19. Системы радиотелемеханики СРП-1 и СРП-3

Конструкторское бюро нефтяного приборостроения (КБАТ) в содружестве с ИАТ АН СССР разработали в 1957 г. частотную систему радиотелеконтроля СРП-1

с УКВ радиоканалом для централизованного телеконтроля за работой нефтескважин.

Для каждой телемеханизированной скважины система СРП-1 обеспечивает:

1) автоматическую передачу на ДП сигнала «авария» с адресом ИП, возникающего при неисправности оборудования скважины;

2) автоматическое ТИ дебита скважины (без вызова диспетчером) путем передачи сигналов о наполнении автоматизированной мерной емкости с адресом ИП;

3) двустороннюю радиотелефонную связь с вызовом диспетчера.

Принцип построения системы СРП-1 иллюстрирует рис. 51. При разработке системы учитывалось, что технологический процесс добычи нефти в восточных районах с фонтанной и глубинно-насосной эксплуатацией принципиально не требует на скважинах дежурного персонала. Однако из-за возможных неисправностей оборудования, которые влекут за собой большие потери нефти, и значительных расстояний между соседними скважинами (0,3—1,5 *км*) промыслы вынуждены содержать большой штат операторов. Площадь промысла в этих районах достигает нескольких десятков квадратных километров.

С учетом этих особенностей скважины промысла условно разделяются на кусты, каждому из которых присваивается отдельная несущая частота радиостанции F_1; F_2; F_3, ...

В системе используется серийно выпускаемая радиостанция с фиксированными частотами в диапазоне 46,1—48,5 *Мгц*. Радиостанция с простой лучевой антенной обеспечивает в среднепересеченной местности дальность действия 10—12 *км*. С направленными антеннами дальность действия может быть увеличена.

Для разделения сигналов с различных скважин одного куста каждой из них присвоена отдельная поднесущая частота f_1, f_2, f_3, ... В полосе пропускания радиостанции 300—3 000 *гц* размещается до 20 таких каналов. Выделение узкой полосы частот для каждой скважины резко повысило помехоустойчивость. всей системы, а выбор частотного метода разделения сигналов от различных скважин позволил создать однотипную аппаратуру на основе блочного принципа построения.

Одна из 18 фиксированных частот радиостанции ис-

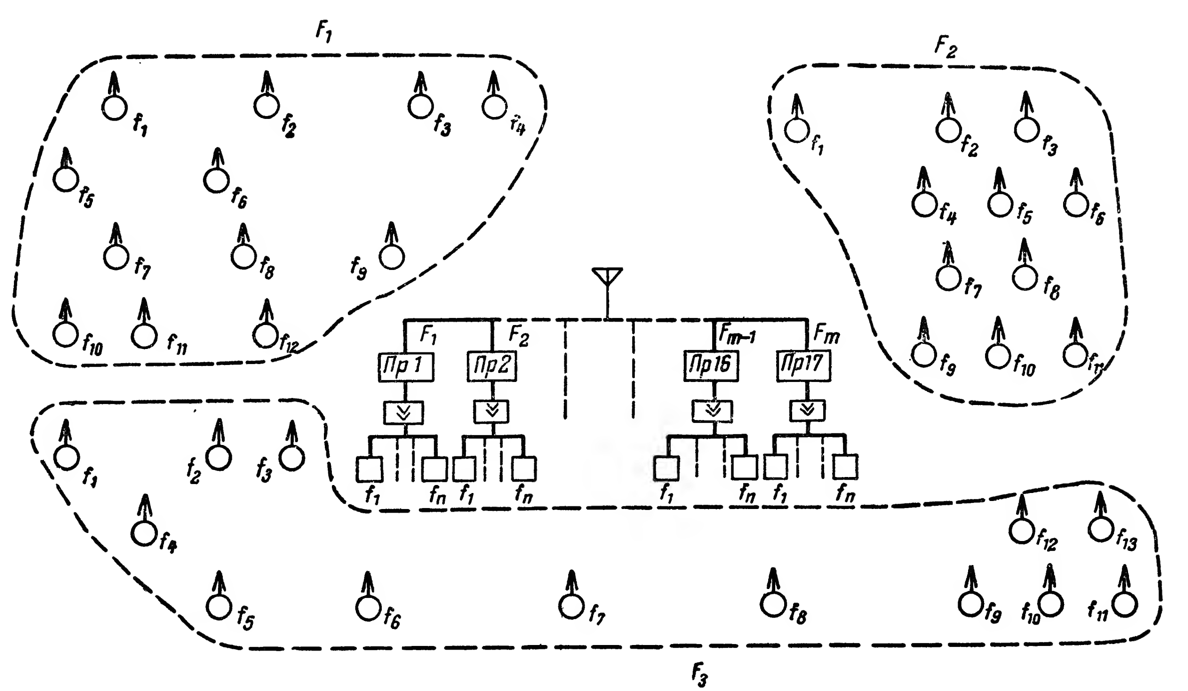


Рис. 51. Схема частотной системы радиотелеконтроля СРП-1.
F_1, F_2, F_3 — несущие частоты радиостанций;
f_1, $f_2, \ldots,$ f_n— частоты модуляции радиостанции.

пользуется для телефонной связи, поэтому максимальное количество скважин в системе равно 17×20=340.

Все сигналы передаются в виде импульсов длительностью около 100 *мсек* на частотах, присвоенных скважинам. При этом «авария» передается повторяющимися сигналами примерно с частотой 1 *сигнал/мин*, а сигнал наполнения мерника — одной кодовой группой, состоящей из нескольких импульсов, с интервалом между импульсами 0,3 *сек*.

Принципиальная схема передающего блока приведена на рис. 52. Генератор поднесущей частоты, колебаниями

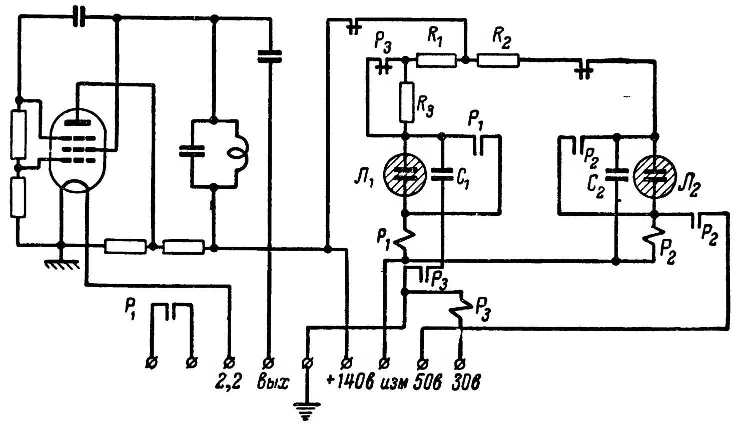


Рис. 52. Схема передающего блока устройства телемеханики СРП-1.

которого по амплитуде модулируется радиостанция, имеет обычную транзитронную схему. Кодирующее устройство состоит из двух релаксационных генераторов с разрядными лампами. В качестве разрядных ламп использованы тиратроны с холодным катодом МТХ-90. Последовательно с тиратронами включены обмотки электромагнитных реле P_1 и P_2.

В момент наполнения мерной емкости замыкается контакт, включающий общее питание передатчика и блока телемеханики. При этом начинают работать два релаксационных генератора. Первый генератор (R_1, C_1, $Л_1$) генерирует импульсы через каждые 0,3 *сек*, манипулирующие радиостанцию. Второй генератор (R_2, C_2, $Л_2$) имеет бóльший период и в момент загорания его разрядной лампы реле P_2 срабатывает, самоблокируется и выключает схе-

му. До срабатывания реле P_2 генерируются, например, два импульса.

При передаче сигнала аварии второй релаксационный генератор выключается, а частота первого генератора резко уменьшается путем включения дополнительного сопротивления R_3.

Аппаратура телемеханики на скважине мало чувствительна к замене ламп и тиратронов и работает при окружающей температуре от +50 до —50° С. Средний срок работы радиостанций и блока телемеханики на скважине без замены ламп и других элементов резко увеличен путем выбора режима, при котором вся аппаратура включается кратковременно только на время передачи сигналов телемеханики.

Дешифратор в приемнике на ДП выделяет сигнал аварии и сигнал наполнения мерника. Его элементы однотипны с элементами кодирующего устройства. На выходе дешифратора включены телефонный счетчик, отсчитывающий число наполнений мерника, и лампочка, сигнализирующая об аварии на скважине. Аппаратура на ДП включена непрерывно. Разделение сигналов от скважин по частоте осуществляется LC-контурами, описанными в гл. 3.

Конструктивно аппаратура для скважин выполнена в виде двух отдельных блоков, а на ДП — в виде стоек с одинаковыми взаимозаменяемыми блоками на 10 скважин каждый. Число блоков определяется количеством скважин на промысле.

Система СРП-1 была испытана в промышленных условиях, и в 1958 г. заводом выпущена партия аппаратуры. Система может найти применение при телемеханизации в других отраслях народного хозяйства.

Частотная система СРП-3 разработана КБАТ в содружестве с ИАТ АН СССР для телеуправления насосными станциями или другими ИП. Она обеспечивает ТУ, ТР, ТС, ТИ и телефонную связь при использовании типового проводного или радиоканала с полосой частот 300—3 000 *гц*. С ДП на ИП передаются командные сигналы включения и отключения электродвигателей, открытия и закрытия регулирующей задвижки, с остановкой в любом положении по желанию диспетчера. С ИП на ДП автоматически передаются сигналы аварийного отключения двигателей, состояния уровня жидкости в резервуаре, конечного положения регулирующей задвижки и сигналы измерения расхода жидкости.

По запросу диспетчера передаются сигналы о работе электродвигателя (включен, отключен) и телеизмерение давления в трубопроводе. Система имеет телефонную связь с двусторонним вызовом.

Дальность действия системы с направленными антеннами до 30 *км*.

СРП-3 используется для ТУ насосными станциями законтурного заводнения нефтепромыслов, которые работают без дежурного персонала (на замке).

20. Комплексная система телемеханики КСТ

Система КСТ разработана ИАТ АН СССР в содружестве с Конструкторским бюро «Оргэнергогаз» для районной диспетчеризации газопроводов. В ней применены двухчастотный метод избирания объектов и частотные избиратели с электрическими *LC*-контурами. Система может работать с различными проводными линиями связи и не требует местных источников питания на объектах. Это повышает надежность ее работы, расширяет область применения и позволяет использовать систему в тех случаях, когда объекты не электрифицированы (например, на газопромыслах, газопроводах, в ирригационных системах и т. п.).

Надежность работы аппаратуры телемеханики в основном определяется надежностью устройств на ИП, работающих без дежурного персонала. Поэтому в системе КСТ аппаратура ИП построена на высоконадежных бесконтактных магнитных и полупроводниковых элементах, без радиоламп и контактов в цепях избирания. Повреждение любого элемента схемы или обрыв проводника в исполнительном пункте вызывает только защитный отказ и не приводит к избиранию объекта или исполнению ложной команды.

Упрощенная схема блока избирания КСТ (дешифратора) приведена на рис. 53.

Для избирания объекта в линию подаются последовательно колебания двух частот f_1 и f_2 от звукового генератора на ДП. Эти колебания через разделительный конденсатор C_3 и согласующий трансформатор T_1 подаются на два резонансных контура. Первый контур (L_1C_1) настроен на частоту f, в то время как второй — на частоту $f_2(L_2C_2)$. В системе применяются последовательные *LC*-контуры, описанные в гл. 3.

При передаче колебания с частотой f_1 выходное напряжение первого контура открывает первый транзистор $П_1$ с частотой f_1. Питание нормально закрытого транзистора $П_1$ осуществляется от накопительного конденсатора $C_4=60$ *мкф*, заряжаемого постоянным током с ДП через линию, первичную обмотку трансформатора T_1 и сопротивление R_1. Для этого в линию подается постоянное напряжение 120 *в*, а во время работы системы ТИ в линию по-

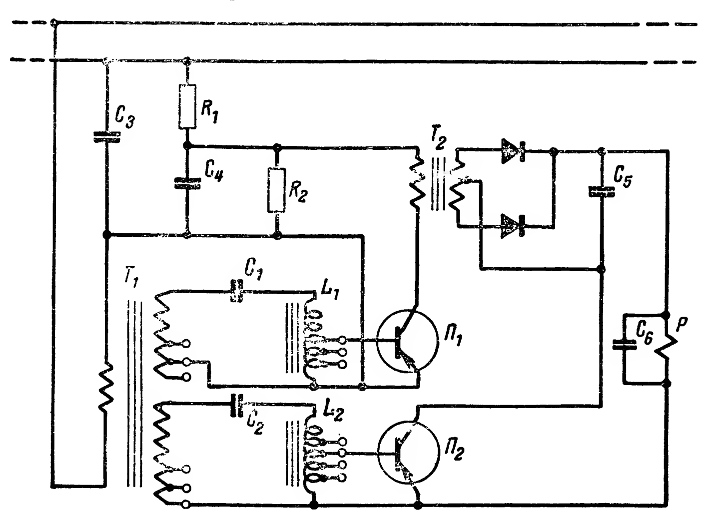


Рис. 53. Упрощенная схема устройства выбора на ИП в системе КСТ.

дается пульсирующее напряжение прямоугольной формы (см. ниже).

Выходное напряжение транзистора $П_1$ с частотой f_1 подается через трансформатор T_2 на двухполупериодный выпрямитель, на выходе которого включен конденсатор C_5. Конденсатор C_5 заряжается за счет энергии накопительного конденсатора C_4, а напряжение звуковой частоты f_1, подаваемое с ДП, только открывает транзистор $П_1$. Это позволяет уменьшить уровень сигнала вызывных частот в линии до допустимой величины (15 *в*).

При избирании объекта колебание с частотой f_1 подается в течение 1,5 *сек*. За это время конденсатор $C_5=$ $=10$ *мкф* заряжается до величины, достаточной для срабатывания нейтрального реле *Р*. После этого с ДП в течение примерно 0,3 *сек* подается колебание с частотой f_2.

Выходное напряжение второго контура с частотой f_2 при этом открывает транзистор $П_2$, и конденсатор C_5 разряжается на обмотку реле, вызывая его срабатывание. Реле самоблокируется постоянным напряжением в линии.

Команда выключения объекта передается путем выключения на ДП напряжения питания.

Блоки телеуправления на ИП отличаются от блока избирания объекта дополнительным резонансным контуром с частотой f_3 и транзистором.

Команда ТУ «включить» передается комбинацией частот f_1 и f_2, а команда «выключить» — соответственно путем последовательной передачи колебаний с частотами f_1 и f_3.

Легко убедиться, что повреждение любого элемента схемы на рис. 53 или обрыв любого проводника может привести только к защитному отказу, а не к ложному выбору или исполнению ложной команды.

Применение накопительного конденсатора C_4 позволило резко повысить дальность действия и увеличить максимальное количество ИП, подключаемых к общей линии. Кроме того, импульсные перенапряжения в линии не вызывают повреждений транзисторов. В реальной схеме КСТ дополнительно для устранения возможных перенапряжений параллельно конденсаторам C_4 и C_5 включены последовательные цепочки опорных кремниевых диодов.

Для измерения технологических параметров и для ТС крайних положений объектов используется время-импульсная телеизмерительная система ВСТ-1, описанная в этой главе, работающая с типовыми потенциометрическими датчиками давления, уровня и т. п. Передатчик системы, устанавливаемый на объекте, разработан на основе бесконтактных элементов и не содержит движущихся частей контактов и ламп. При ТС по вызову крайних положений объекта к передатчику ТИ в зависимости от положения блок-контакта объекта включается одно из двух постоянных сопротивлений, равное максимальному или минимальному сопротивлению потенциометрического датчика.

Телеизмерительная система может быть использована также для подтверждения выбора данного объекта. В этом случае при выборе объекта взамен датчика ТИ включается постоянное сопротивление, величина которого для всех объектов различна и определяет адрес объекта.

Номер выбранного объекта, нанесенный на шкале вы-

ходного телеизмерительного прибора, соответствующий величине измеряемого постоянного сопротивления, указывается диспетчеру стрелкой прибора.

Система КСТ имеет следующие технические данные:

1. Дальность действия с биметаллической двухпроводной цепью (провод диаметром 4 *мм*), без промежуточных трансляций 400 *км*.

2. Диапазон частот избирания и телеуправления 70—300 *гц*.

3. Продолжительность избирания одного объекта 2 *сек*.

4. Емкость системы (число ИП, включаемых в двухпроводную линию) до 40.

5. Число команд ТУ на ИП-2.

6. Число сигналов ТС по вызову на одном ИП-2.

7. Число телеизмеряемых параметров на одном ИП-2.

8. Длительность цикла одного измерения 2 *сек*.

9. Приведенная погрешность телеизмерения (без погрешности датчика) 1,5%.

Аппаратура ИП системы КСТ рассчитана для установки в неотапливаемых помещениях и киосках без дежурного персонала. Местного питания для аппаратуры ИП не требуется.

В КБ «Оргэнергогаз» изготовлена аппаратура для нескольких комплектов системы КСТ.

Один из комплектов КСТ в 1959 г. установлен для опытной эксплуатации на газопроводе Щекино — Москва с длиной стальной воздушной линии 230 *км* ($d=4$ *мм*). Освоение производства системы намечено в 1960 г.

21. Бесконтактная система ТУ—ТС—ТИ с временным разделением сигналов

Система разработана в ИАТ АН СССР для рассредоточенных объектов. В основу ее положены временное разделение сигналов и распределительный метод избирания. Используются феррит-диодные ячейки с бесконтактными магнитными элементами с ППГ. Распределители на ДП и ИП системы работают синхронно и синфазно и осуществляют поочередное последовательное во времени переключение цепей. При этом один канал связи переключается поочередно с одних приемно-передающих цепей на другие. Синхронность работы распределителей достигается питанием ДП и всех ИП от общей сети переменного тока, а синфазность — путем передачи специальных синфази-

рующих импульсов, запускающих распределители в необходимый момент времени.

В системе используется последовательный метод синфазирования. Отдельные цепи распределителя ИП при этом включены в линию связи последовательно, и в каждый момент времени работает распределитель только одного ИП.

Запуск распределителя каждого последующего ИП производится последним элементом распределителя предыдущего ИП, после чего распределитель этого ИП оста-

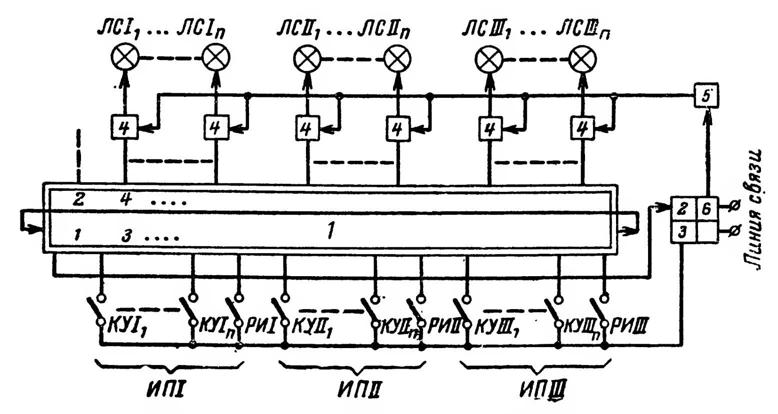


Рис. 54. Блок-схема ДП бесконтактной системы ТУ, ТС, ТИ с элементами ППГ.

навливается. Запуск распределителя ближайшего к ДП ИП производится синфазирующим импульсом с первого элемента распределителя на ДП.

Распределитель ДП выполнен по замкнутой кольцевой схеме и содержит количество элементов, равное общему числу объектов на всех ИП, а распределитель каждого ИП имеет количество элементов, равное числу объектов на данном ИП.

За время работы распределителя каждого ИП происходит прием импульсов управления и передача импульсов сигнализации со всех объектов данного ИП; в конце его работы передаются синфазирующие импульсы на следующий ИП и т. д. За один цикл работы распределителя ДП происходит передача сигналов управления и прием сигналов сигнализации со всех ИП.

Блок-схема ДП приведена на рис. 54.

Распределитель импульсов *1* состоит из цепочки элементов с ППГ, включенных последовательно и питаемых разнополярными импульсами с частотой силовой сети переменного тока. Все нечетные элементы срабатывают от положительных импульсов, а четные — от отрицательных, так что за период переменного тока срабатывают два соседних элемента один за другим. Использование сети переменного тока позволило не применять специальных генераторов для работы распределителей.

Нечетные элементы распределителя являются передающими. Первый элемент воздействует на блок передачи импульса синфазирования *2*, который, как уже отмечалось, посылает синфазирующий импульс в линию связи для запуска распределителя на ближайшем (первом) ИП. Последующие нечетные элементы через ключи управления воздействуют на блок передачи импульсов управления *3*, передающий эти импульсы в линию связи. Работающий распределитель первого ИП направляет эти импульсы в соответствующие исполнительные реле. К моменту окончания работы распределителя первого ИП распределитель ДП через ключ разрешения исполнения посылает импульс разрешения исполнения на первый ИП.

Второй ИП запускается после того, как распределитель первого ИП дойдет до конца. Он также имеет соответствующие ему нечетные элементы в распределителе ДП и т. д.

Четные элементы распределителя ДП воздействуют поочередно на выходные сигнальные реле *4*. Это воздействие определяется состоянием схемы совпадения *5*, на которую подаются также импульсы синхронизации, передаваемые через каналы связи и блок приема импульсов синхронизации *6*. Если импульс синхронизации, передаваемый из канала связи, отсутствовал на соответствующем такте движения распределителя, то сигнальное реле переводится в состояние покоя (состояние «отключено») и сигнальная лампа данного объекта будет потушена. При передаче импульса синхронизации сигнальное реле переводится в состояние «включено» и загорается сигнальная лампа.

Для последовательного метода синфазирования, как уже отмечалось, отдельные цепи распределителей ИП включены в линию связи последовательно. В этом случае система с рассредоточенными объектами может иметь пять типов исполнительных пунктов в зависимости от их

расположения на линии связи. Для первого типа промежуточный ИП находится на основной ветви линии связи; второй тип — узловой ИП; третий — промежуточный ИП на ответвлении линии связи; четвертый — оконечный ИП на ответвлении линии связи и пятый — оконечный ИП на основной ветви линии.

На рис. 55 приведена блок-схема узлового ИП, являющегося наиболее общим типом ИП. Запуск распределителя *1* производится блоком приема синфазирования *8* при

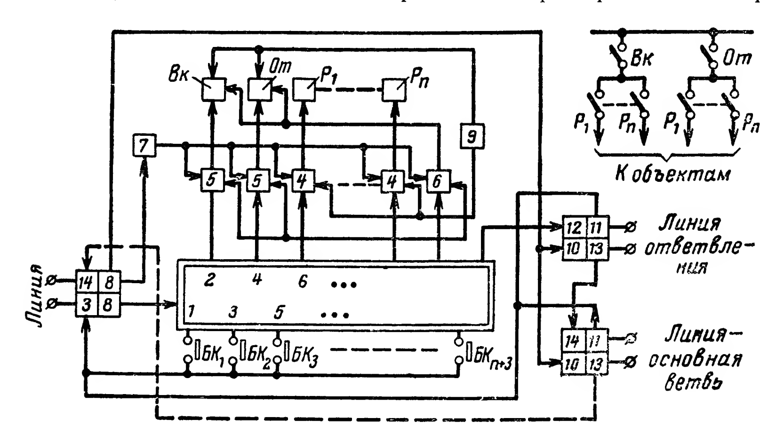


Рис. 55. Блок-схема узлового ИП бесконтактной системы ТУ — ТС — ТИ с элементами ППГ.

приеме синфазирующего импульса со стороны предыдущего ИП.

Элементы распределителя *1*, так же как и на ДП, разбиты на две группы — на четные и нечетные. Нечетные элементы воздействуют на блок передачи и трансляции сигнализации *3* через блок-контакты. Блок *3* передает импульсы синхронизации на предыдущий ИП и далее в сторону ДП. Четные элементы распределителя воздействуют на выходное бесконтактное реле управления *4*, на реле выбора характера операции и на реле разрешения исполнения *6*. Характер воздействия на бесконтактное реле определяется состоянием схемы совпадения *7*.

Если из линии связи блоком приема управления *8* принят импульс управления на соответствующем такте работы распределителя, то включается главное выходное реле, которое включает соответствующее исполнительное реле P_1— P_n.

В отличие от объектных исполнительных реле $P_1—P_n$ исполнительное реле характера операции *Вк* или *От* не включается непосредственно после срабатывания бесконтактных реле характера операции. Реле *Вк* и *От* включаются только после срабатывания разрешения исполнения, если блок защиты *9* не зафиксирует срабатывания двух реле управления одновременно.

При срабатывании исполнительного реле характера операции образуется цепь включения или выключения объекта.

Для возможности управления объектами на последующих ИП блок приема управления *8* воздействует на блоки трансляции управления *10*. Последние передают импульсы управления в линию связи.

На блок передачи и трансляции сигнализации также воздействуют сигналы со стороны последующих ИП на ответвлении и основной ветви через блоки приема сигнализации *11*. Для запуска распределителя следующего ИП последний элемент распределителя передает импульс на блок передачи синфазирования *12*, который передает синфазирование на ответвление. После окончания работы всех ИП на ответвлении оконечный ИП этого ответвления посылает синфазирующий импульс в направлении узлового ИП. Этот импульс принимается блоком приема и трансляции синфазирования *13* на данном узловом ИП и передается блоком трансляции синфазирования *14* на ближайший ИП основной ветви. Если данный узловой ИП находится на ответвлении, то он должен транслировать импульсы синфазирования по двум ветвям линии связи. При этом на узловом ИП устанавливается второй блок приема и трансляции синфазирования *14*, связанный с другой линией связи. Это воздействие на рис. 55 изображено пунктиром.

Из рис. 55 следует, что узловой ИП имеет три идентичных линейных узла (по числу подходящих к нему линий связи). Каждый такой узел содержит два передающих блока и два приемных.

Схемы ИП других типов отличаются только в части линейных узлов. Количество линейных узлов на ИП равно числу подходящих к ИП линий связи. Так, промежуточные ИП должны иметь два, оконечные — один линейный узел. Характер блоков в каждом линейном узле одинаков, а количество передающих и приемных блоков зависит от типа ИП.

В связи с тем, что на каждом ИП производятся трансляция и восстановление уровня сигнала, затухание, перекрываемое всей системой, определяется в основном затуханием линии связи между двумя соседними ИП, а не общим затуханием линии.

Описанная система ТУ—ТС допускает передачу одного или нескольких ТИ по каналу ТУ—ТС. Для этого распределители импульсов на ИП должны иметь ряд дополнительных элементов, не передающих импульсы сигнализации. На соответствующих тактах при этом канал предоставляется для ТИ.

Передача ТИ может производиться различными методами при соответствующем быстродействии. Так, система ТУ—ТС приспособлена для использования длиннопериодного время-импульсного устройства ТИ ИАТ АН СССР, являющегося модификацией известной системы фирмы Бристоль.

В 1959 г. изготовлены и испытаны образцы данной бесконтактной системы ТУ и ТС.

22. Системы телеизмерения ВСТ с экспоненциальными преобразователями

Время-импульсные системы телеизмерения ВСТ-1 и ВСТ-2 ИАТ АН СССР предназначены для телеизмерения неэлектрических параметров с типовыми или специальными потенциометрическими и реостатными датчиками (давление и расход газа или жидкости, температура, уровень, скорость, ускорение, перемещение и т. п.). ВСТ-1 рассчитана на проводные линии (воздушная или кабельная физическая цепь) и не требует местных источников питания на контролируемом пункте.

Система ВСТ-2 является модификацией ВСТ-1, предназначенной для работы с уплотненными по частоте телефонными или телеграфными каналами (проводными или радио). ВСТ-2 требует местных источников питания на контролируемом пункте.

Передатчик ВСТ-1 рассчитан для установки в неотапливаемых помещениях или киосках без дежурного персонала. В связи с этим особое внимание обращено на повышение надежности его работы.

Передатчик ВСТ-1 построен на основе бесконтактных полупроводниковых, магнитных элементов и экспоненциальных преобразователей. Он не имеет радиоламп и кинематических узлов.

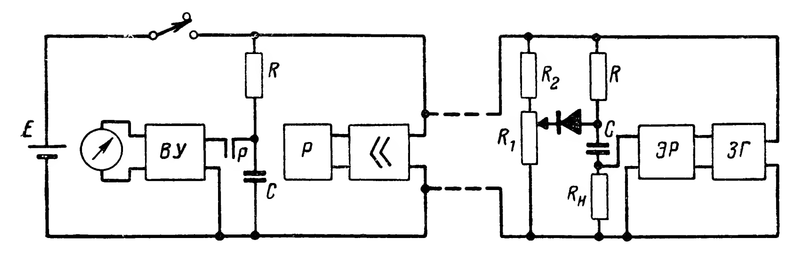


Рис. 56. Упрощенная схема системы телеизмерения ВСТ-1.

ВСТ-1 может работать как в режиме телеизмерений по вызову, так и в непрерывном режиме. Она заменяет во многих случаях уже устаревшую систему телеизмерения фирмы Бристоль и ее модификации с контактами и кинематическими узлами, разработанные в 1927 г. и в более поздние годы.

Рис. 57. Временная диаграмма напряжений на элементах схемы передатчика системы телеизмерения ВСТ-1.

Упрощенная схема ВСТ-1 приведена на рис. 56. Здесь слева приемник системы ТИ, устанавливаемый на ДП, а справа — передатчик, устанавливаемый на контролируемом пункте.

Передатчик ВСТ-1 состоит из экспоненциального преобразователя, электронного реле на двух транзисторах *ЭР* и генератора с фиксированной звуковой частотой *ЗГ*, который одновременно является вторым каскадом электронного реле. Передатчик питается через проводную линию с ДП импульсами прямоугольной формы. Длительность импульсов 1,7 *сек*, а интервал между ними — 0,3 *сек* (рис. 57,*а*). Эти импульсы синхронизируют работу передатчика и приемника. Описание экспоненциального преобразователя дано в гл. 3.

Диод экспоненциального преобразователя открывается в момент $t_с$ (рис. 57), который определяется положением потенциометрического датчика R_1 (рис. 56). В момент $t_с$ прекращается ток через конденсатор C в передатчике и срабатывает электронное реле, включая генератор *ЗГ* (рис. 56) с момента $t_с$ до конца питающего импульса. На

рис. 57 приведены: диаграмма напряжения питающих им пульсов (*а*), кривая напряжения на сопротивлении нагрузки экспоненциального преобразователя $R_н$ (*б*) и напряжение звуковой частоты в линии (*в*). Принципиальная схема передатчика системы ВСТ-1 дана на рис. 58.

Напряжение генератора *ЗГ* с фиксированной частотой усиливается резонансным усилителем в приемнике и в момент $t_с$ вызывает кратковременное срабатывание электромагнитного реле *Р*. При этом контакт реле *Р* в момент

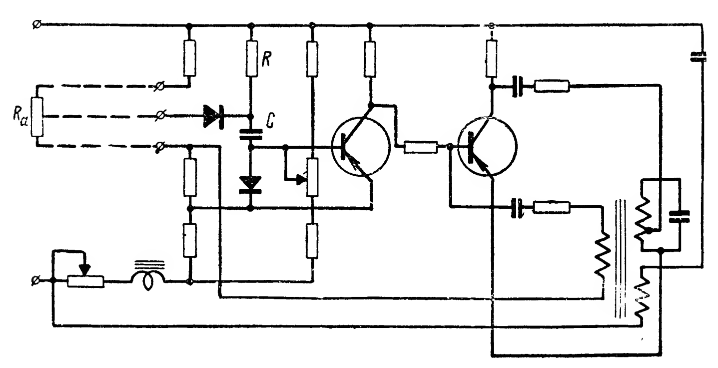


Рис. 58. Принципиальная схема передатчика системы телеизмерения ВСТ-1.

$t_с$ кратковременно соединяет конденсатор *С* с элементом памяти выходного устройства *ВУ*. Элемент памяти, выполненный в виде конденсатора на входе балансного катодного повторителя, сохраняет напряжение конденсатора *С* до следующего цикла. В 1960 г. разрабатывается новый образец приемника ВСТ-1 без электромагнитных реле. Показания выходного прибора пропорциональны напряжению на конденсаторе *С* в момент $t_с$. *RC*-цепочки в приемнике и передатчике имеют одинаковые постоянные времени. Этим достигается обратное функциональное преобразование в приемнике и обеспечивается линейная зависимость между величиной измеряемого параметра и показанием выходного прибора.

Характерной особенностью ВСТ-1 является использование элемента памяти в приемнике. При изменении положения датчика показания выходного прибора остаются неизменными до очередного опроса (цикла измерения), после чего показания устанавливаются с постоянной времени выходного прибора.

Система ВСТ-1 выполнена в виде отдельных блоков передатчика, приемника и блока питания приемника. На выходе приемника включается типовой указывающий или регистрирующий приборы постоянного тока, а на входе передатчика системы — типовой потенциометрический датчик.

Технические данные системы ВСТ-1:

1. Основная погрешность системы (без погрешностей, вносимых датчиком и выходным прибором) меньше 1,5%.

2. Дополнительная погрешность при изменении окружающей температуры передатчика от —40 до +40° или напряжения источников питания на ±15% равна 1%.

3. Дальность действия.

а) с биметаллической линией (d=4 *мм*) 400 *км*,

б) со стальной цепью (d=4 *мм*) 200 *км*.

4. Сопротивление потенциометрического датчика 700 *ом* (система допускает включение датчиков с сопротивлениями до 6 000 *ом* при соответствующем их шунтировании, а также датчиков с меньшим сопротивлением и соответствующей работой на части шкалы выходного прибора).

5. Фиксированная частота генератора звуковой частоты в передатчике выбирается в пределах 800—3 000 *гц*.

6. Выходной указывающий или регистрирующий прибор должен быть рассчитан на постоянный ток, равный 1,0—1,5 *ма*.

7. Приемник предназначается для работы в отапливаемых помещениях с температурой воздуха от 0 до +40°.

8. Питание приемников осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 *в*.

В 1959 г. КБ «Оргэнергогаз» разработал образцы и изготовил аппаратуру системы ВСТ-1 в комплексе с системой КСТ для нескольких десятков исполнительных пунктов. Намечено серийное производство системы.

Система ВСТ-2 имеет ряд общих узлов с системой ВСТ-1. В отличие от ВСТ-1 передатчик системы ВСТ-2 имеет местный генератор импульсов постоянного тока, а его генератор звуковой частоты включается передним фронтом импульсов постоянного тока до момента t_c. В приемнике ВСТ-2 измеряется длительность импульсов с фиксированной звуковой частотой, т. е. система ВСТ-2 имеет широтно-импульсную модуляцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулаев Д. А., Некоторые вопросы построения телемеханических устройств с рассредоточенными исполнительными пунктами, Сборник «Автоматика и телемеханика», Изд. АН СССР, 1958, стр. 109—117.

2. «Автоматизация и телемеханизация в добыче нефти», Сборник трудов совещания, ГОСИНТИ, 1959.

3. Белевич К. В., Демешин В. П., Ильин В. А. и Суворов Г. В., Система радиотелемеханики для нефтепромыслов, «Автоматика и телемеханика», 1957, № 10.

4. Берсенев И. С., Телемеханика в газовом хозяйстве Москвы, «Городское хозяйство Москвы», 1957, № 3.

5. Билик Р. В., Аппаратура телеизмерения время-импульсной системы, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 315—326.

6. Билик Р. В., Жожикашвили О. А., Прангишвили И. В., Бесконтактная система телемеханики на магнитных и полупроводниковых элементах для распределенных объектов, филиал ВИНИТИ, тема 26, 1960.

7. Быховский Я. Л., Телемеханика и ее применение, Трудрезервиздат, 1956.

8. Горяинов О. А., Частотно-фазовое устройство телеуправления МЭИ, Сборник «Научные проблемы телемеханизации производственных процессов», Изд. АН СССР, 1957, стр. 162—165.

9. Горяинов О. А., Райнес Р. Л., Телеуправление, Госэнергоиздат, 1954.

10. Жданов Г. М., Телеизмерение, Госэнергоиздат, ч. 1, 1952, ч. 2, 1953.

11. Жожикашвили В. А., Митюшкин К. Г., Бесконтактные устройства телеуправления — телесигнализации (ТУ—ТС), филиал ВИНИТИ, тема 26, 1957.

12. Ильин В. А., Основные научные проблемы телемеханики, «Автоматика и телемеханика», 1955, № 4.

13. Ильин В. А., Основные проблемы научно-исследовательских работ в области телеизмерений, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 51—58.

14. Ильин В. А., О выборе структуры каналов связи для систем телемеханики, «Автоматика и телемеханика», 1957, № 7.

15. Ильин В. А., Курдюков К. П., О частотных методах телеуправления рассредоточенными объектами, «Автоматика и телемеханика», 1958, № 2.

16. Ильин В. А., Новиков А. И., Новые принципы построения систем телеизмерения с время-импульсной и широтно-импульсной модуляцией, «Автоматика и телемеханика», 1958, № 8.

17. Ильин В. А., Курдюков К. П., Степанов В. И., Комплексная система телемеханики КСТ-1 для рассредоточенных объектов, «Автоматика и телемеханика», 1959, № 2.

18. Ильин В. А., Принципы построения систем телеуправления с экспоненциальными преобразователями, «Автоматика и телемеханика», 1959, № 4.

19. Ильин В. А., Важные направления в телемеханике, «Вестник Академии наук СССР», 1959, № 5.

20. Иляхинский А. С., «Телемеханизация объектов металлургических предприятий, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1955, стр. 403—432.

21. Иносов В. Д., Лучук А. М., Частотное устройство телеуправления, филиал ВИНИТИ, 1957.

22. Карвацкий С. Б., Телеуправление устройствами СЦБ, Трансжелдориздат, 1957.

23. Каширин В. А., Оптимальные по помехоустойчивости параметры систем телеизмерения, «Автоматика и телемеханика», 1959, № 2.

24. Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, Связьиздат, 1949.

25. Корнилов Ю. Г., Задачи диспетчеризации газового хозяйства, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 457—464.

26. Кощеев И. А., Теория связи по проводам, Связьиздат, 1953.

27. Кублановский Л. Б., Автоматизация и телемеханизация добычи нефти, Гостоптехиздат, 1958.

28. Курдюков К. П., Система телемеханики с частотным избиранием, филиал ВИНИТИ, тема 42, 1958.

29. Лисицкая И. Н., Михайловский В. Н., Надточий К. Д., Охотская В. Н., О частотных элементах телемеханики, «Автоматика и телемеханика», 1959, № 9.

30. Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах, Госэнергоиздат, 1955.

31. Мамиконов А. Г., Радиодиспетчеризация нефтяных промыслов. Известия высших учебных заведений, «Нефть и газ». Изд. Азербайджанского индустриального института, 1959.

32. Мороз В. А., Устройство телеуправления объектами коммунального хозяйства, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 223—228.

33. Певзнер В. Б., Автоматизация и дистанционное управление оборудованием нефтепромыслов, ВИНИТИ, 1957.

34. Пенкин Н. Ф., Диспетчерская централизация полярно-частотного кода системы ПЧДЦ-55, Сборник статей по железнодорожной автоматике, телемеханике и связи, Трансжелдориздат, 1957, стр. 3—30.

35. Сергованцев В. Т., Телемеханизация сельских энергосистем, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 382—390.

36. Силаев В. Н., Телемеханическое устройство для рассредоточенных объектов, Сборник «Автоматика и телемеханика», 1958, стр. 133—145.

37. Телемеханизация энергетических систем. Сборник переводов, Госэнергоиздат, 1957.

38. Тутевич В. Н., Многоканальная импульсная система телеконтроля на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 163—171.

39. Тутевич В. Н., Бесконтактная циклическая система телемеханики, филиал ВИНИТИ, 1957.

40. Циткин Ю. С., Задачи телемеханизации диспетчерского управления магистральным газопроводом, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 425—437.

41. Управление и измерение на расстоянии, Сборник статей, Изд. иностранной литературы, 1957.

42. Фремке А. В., Телеизмерения, Госэнергоиздат, 1958.

43. Шастова Г. А., Исследование помехоустойчивости передачи команд телеуправления методами теории потенциальной помехоустойчивости, «Автоматика и телемеханика», 1955, № 4.

44. Эдмин Л. А., Телемеханизация городского газового хозяйства, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 438—456.

45. Яковлев С. М., Вопросы построения устройств телеуправления распределенными объектами, Сборник «Телемеханизация в народном хозяйстве», Изд. АН СССР, 1956, стр. 203—209.

46. Яковлев С. М., Устройство телеуправления распределенными объектами, ИТЭИН АН СССР, 1956.

47. Allen T. Y., Daniel J., Vibrocode system of supervisory control on a carrier communication channel, Electrical Engineering, 1951, v. 70, № 11, p. 1004—1008.

48. Backman N., Cannon P., What plantation learned in 2 years of operating unattended pump stations, Oil and Gas Journal, 1955, v. 53, № 8, p. 87—90.

49. Brewster P. J., Lounsberry E. P., Williams J. B., Remote control by microwave, Petroleum Engineer, 1955, v. 27, № 4, p. D23—D28.

50. Dennhardt O., Tonfrequenz-Rundsteuertechnik, Funk und Ton, 1954, Bd 8, № 6, S. 323—328.

51. Derr W. A., Hyde M. A., Remotely operated pipeline pumping stations, Westinghouse Engineering, 1956, № 2, p. 50—54, 65.

52. Die Grüne Welle 5 Die Besonderheitten der zentralgesteuerten Verkehrssignalregelung, VDI-Nachrichten, 1956, № 3, S. 1.

53. Draadlos bestuurd trasport in fabrickhollen en magazijen, Electronika, 1956, Bd 9, № 192, S. 13.

54. Köberich R., Die tonfrequente Rundsteuerung in der Energieversorgung, AEG-Mitteilungen, 1954, Bd 44, № 516, S. 223—233.

55. Lundberg J. R. S., Supervisory control of overhead contact lines of the Swedish state railways, ASEA Journal, 1951, v. 24, № 1—2, p. 3—12.

56. Pice P. W., Traffic control in Evansville, Indiana in 1955, American City, 1955, v. 70, № 12, p. 111, 113, 115.

57. Schmitz M., Eine Anwahlvermessung nach dem Gleichrichterverfahren, Elektrische Wirtschaft, 1955, № 21, S. 746—749.

58. Gardly L. H., Developments in ripplay centralized control, Metropolitan-Vickers Gazette, 1948, v. 22, № 367, p. 331—336.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 3 р. 20 к.

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

Вышли из печати

Выпуск 1. *Шумиловский Н. Н.* и *Мельтцер Л. В.*, Применение ядерных излучений для автоматического контроля технологических процессов, 1958 г., ц. 2 р. 50 к.

Выпуск 2. *Богданов Д. И.* и *Евдокимов Г. К.*, Феррорезонансные стабилизаторы, 1958 г., ц. 2 р.

Выпуск 3. *Вершинин Н. И.* и др., Автоматическое регулирование, 1959 г., ц. 3 р. 50 к.

Выпуск 4. *Декабрун И. Е.*, Электромагнитные поляризованные реле и преобразователи, 1959 г., ц. 2 р.

Выпуск 5. *Булгаков А. А.*, Программное управление металлорежущими станками, 1959 г., ц. 3 р.

Выпуск 6. *Катыс Г. П.*, Оптические датчики температуры, 1959 г., ц. 2 р.

Выпуск 7. *Крассов И. М.*, Гидравлические усилители, 1959 г., ц. 2 р.

Выпуск 8. *Юферов Ф. М.*, Электрические двигатели автоматических устройств, 1959 г., ц. 7 р. 30 к.

Выпуск 9. *Дружинин Г. М.*, Реле времени, 1959 г., ц. 2 р. 30 к.

Выпуск 10. *Круг Г. К.* и *Круг Е. К.*, Электрические корректирующие элементы в схемах автоматического контроля и регулирования, 1959 г., ц. 2 р. 45 к.

Выпуск 11. *Рожанский Л. Л.*, Статические электромагнитные преобразователи частоты, 1959 г., ц. 2 р. 85 к.

Выпуск 12. *Ацюковский В. А.*, Емкостные дифференциальные датчики перемещений, 1960 г., ц. 2 р. 85 к.

Выпуск 13. *Малов В. С.*, Телемеханика, 1960 г., ц. 2 р. 50 к.

Выпуск 14. *Догановский С. А.* и *Иванов В. А.*, Блок регулируемого запаздывания, ц. 2 р.

Готовятся к печати

Архангельский В. И., Бесконтактные схемы управления электроприводами реверсивных прокатных станов, ц. 2 р. 50 к.

Бондаренко П. А., Применение вычислительных машин для автоматизации доменных печей, ц. 2 р. 50 к.

Васильев Р. Р. и *Шастова Г. А.*, Передача телемеханической информации, ц. 3 р.

Волосников В. П., Использование вычислительных машин для автоматизации электроприводов, ц. 2 р. 50 к.

Воробьева Т. М., Электромагнитные муфты, ц. 2 р.

Лихачев В. А., Многоканальное быстродействующее регистрирующее устройство РУМБ, ц. 1 р. 50 к

Митин И. Г., Подсводовый пирометр для мартеновских печей, ц. 1 р. 25 к.

Уланов Г. М., Регулирование по возмущению (компенсация возмущений и инвариантность), ц. 2 р. 50 к.